

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

**Modelování odbavovacího procesu na letišti**

**Modelling of Airport Check-in Process**

Student:

Ing. Anna Kovářová

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.

Ostrava 2016

## Zadání diplomové práce

Student: **Ing. Anna Kovářová**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie  
Specializace: 40 Letecká doprava  
Téma: **Modelování odbavovacího procesu na letišti**  
**Modelling of Airport Check-in Process**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod – definování řešeného problému v širších souvislostech.
2. Charakteristika procesu odbavení na zvoleném letišti.
3. Popis metodiky získání vstupních dat pro modelování.
4. Charakteristika vhodných nástrojů pro modelování, výběr vhodné metody pro řešení problému.
5. Návrh modelu.
6. Výpočetní experimenty s navrženým modelem.
7. Závěr – shrnutí dosažených poznatků.

Seznam doporučené odborné literatury:

Kazda, A.: Letiská: Design a prevádzka. Žilina: ŽU v Žilině, 1995. 377 s. ISBN 80-7100-240-2  
Hušek, R; Lauber, J.: Simulační modely. Praha: SNTL, 1987. 349 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....16.5. 2016.....

.....Kordějová.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....16.5.2016.....

.....Kovářová.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: ANNA KOVÁŘOVÁ

Adresa trvalého pobytu autora práce: ZAŠOVA 546, 756 51 ZAŠOVA

### Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph.D. za rady, připomínky a podněty při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat Bc. Davidovi Klasovi za pomoc při měření na Letišti Ostrava, a.s. a samozřejmě také provoznímu řediteli letiště Ing. Michalu Holubcovi za umožnění tohoto měření. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat Ing. Michalu Dordovi, Ph.D. za pomoc s prací v programu WITNESS.

V Ostravě: .....16.5.2016.....

.....Kovářová.....

podpis

## **Anotace**

KOVÁŘOVÁ, A. Modelování odbavovacího procesu na letišti : diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2016, 104 s. Vedoucí práce: Teichmann, D.

Diplomová práce se zabývá tvorbou simulace odbavovacího procesu na letišti v simulačním programu WITNESS. První část práce se věnuje Letišti Ostrava a.s. Zahrnuje plán rozložení letištní haly a obecný popis postupu odbavování cestujících na vnitrostátních i mezinárodních letech. Na tomto letišti bylo prováděno měření, ze kterého se vycházelo při tvorbě samotné simulace. Naměřené hodnoty a rozmístění měřičů je popsáno v samostatné kapitole včetně interpretace výsledků pomocí grafů. Další kapitola se zabývá představením samotného simulačního programu WITNESS a jeho základních funkcí. Za touto kapitolou následuje návrh simulačního modelu v programu WITNESS pro změřené lety.

## **Klíčová slova**

simulace, letiště, odbavovací proces, WITNESS

## **Annotation**

KOVÁŘOVÁ, A. Modelling of Airport Check-in Process : Master Thesis. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, The Institute of Transport, 2016, 104 p. Thesis head: Teichmann, D.

Diploma thesis is about simulation of check-in process at the airport in the simulation program WITNESS. The first part is devoted Airport Ostrava, a.s. Includes a plan of the airport hall and description of general procedures of handling of passengers to national and international flights. At this airport were measured. Results of this measurement was use to creation simulation. Measured values and location of measurement is described in a separate chapter, including interpretation of the results by graphs. Another chapter describes the simulation program WITNESS and its basic functions. In following part is described creation of simulation of individual measured flights.

## **Key words**

simulation, airport, Check-in process, WITNESS

## **Seznam zkratek**

MS Excel - Microsoft Excel

## Obsah

1	Úvod .....	10
2	Charakteristika procesu odbavení na Letišti Ostrava, a.s. ....	11
2.1	Proces odbavení cestujících při letech do Schengenského prostoru .....	11
2.2	Proces odbavení cestujících při letech mimo Schengenský prostor.....	13
3	Popis metodiky získávání vstupních dat pro modelování .....	15
3.1	Charakteristika odbavovacího procesu při vnitrostátním letu.....	17
3.2	Charakteristika odbavovacího procesu při letu mimo Schengenský prostor . .....	22
4	Charakteristika vhodných nástrojů pro modelování .....	26
4.1	Simulační program WITNESS.....	26
4.2	Základní funkce programu WITNESS [6] .....	27
4.2.1	Popis prostředí programu WITNESS.....	27
4.2.2	Základní prvky pro tvorbu simulace .....	28
4.2.3	Základní pravidla a funkce.....	35
4.2.4	Generování pseudonáhodných hodnot .....	36
4.2.5	Ovládání simulace.....	37
4.2.6	Zápis a čtení ze souborů MS Excel .....	37
5	Návrh modelu .....	39
5.1	Let do Schengenského prostoru .....	39
5.1.1	Řešení linky bezpečnostní kontroly .....	40
5.2	Let mimo Schengenský prostor.....	42
6	Výpočetní experimenty s navrženým modelem .....	45
6.1	Tvorba modelu vnitrostátního letu .....	45
6.1.1	Popis situace.....	45
6.1.2	Transformace do programu WITNESS.....	46
6.1.3	Nastavení součástí.....	50
6.1.4	Nastavení zásobníků .....	51



6.1.5	Nastavení strojů.....	53
6.1.6	Pracovníci a definování směn .....	55
6.1.7	Statistiky ze simulace.....	58
6.1.8	Porovnání výsledků simulace s naměřenými hodnotami.....	63
6.2	Tvorba modelu letu mimo Schengenský prostor .....	67
6.2.1	Popis situace.....	67
6.2.2	Transformace do programu WITNESS.....	68
6.2.3	Nastavení součástí.....	70
6.2.4	Nastavení zásobníků .....	70
6.2.5	Nastavení strojů.....	71
6.2.6	Pracovníci a definování směn .....	74
6.2.7	Statistiky ze simulace.....	75
6.2.8	Porovnání výsledků simulace s naměřenými hodnotami.....	78
6.3	Tvorba obecného modelu letu mimo Schengenský prostor .....	84
6.3.1	Popis situace.....	84
6.3.2	Transformace do programu WITNESS.....	84
6.3.3	Nastavení součástí.....	86
6.3.4	Nastavení zásobníků .....	87
6.3.5	Nastavení strojů.....	88
6.3.6	Pracovníci a definování směn .....	90
6.3.7	Statistiky ze simulace.....	93
7	Závěr.....	97
	Zdroje .....	99
	Seznam obrázků .....	100
	Seznam tabulek .....	101
	Seznam grafů.....	103
	Seznam příloh .....	104

# 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je zjistit, zda jde v simulačním programu WITNESS britské společnosti Lanner Group Ltd., nasimulovat chování cestujících při odbavovacím procesu na letišti. Pro tvorbu simulace je vycházeno z měření přímo na letišti. Vybráno bylo Letiště Ostrava, a.s., kde proběhlo sledování jednoho vnitrostátního a jednoho mezinárodního letu mimo Schengenský prostor.

U jednotlivých letů měl být sledován časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám, délka odbavení jednotlivých cestujících. Po odchodu od odbavovacích přepážek mělo být zaznamenáno, zda cestující pokračovali ihned k bezpečnostní kontrole, nebo zda odložili průchod bezpečnostní kontrolou v čase. Dále časový průběh příchodů k bezpečnostní kontrole a délka této kontroly a opět navazující činnost cestujících po bezpečnostní kontrole. Poté u mezinárodního letu časový průběh příchodů cestujících k pasové kontrole a délka jejího trvání. A na závěr jak u vnitrostátního, tak u mezinárodního letu, časový průběh příchodů cestujících k nástupu do letadla a délka odbavení při nástupu. Výsledky byly zapsány do předem vytvořených zápisníků. Ze získaných dat byly tvořeny modely jednotlivých letů.

Práce je dělena do sedmi kapitol. Po úvodu následuje část věnována Letišti Ostrava a.s., na kterém měření probíhalo. Popisuje především rozložení letištní haly a obecnou strukturu odbavení cestujících na tomto letišti. Následující kapitola popisuje průběh samotného měření na letišti. Zahrnuje popis rozmístění měřičů a průběhu měření, ale také jeho výsledky znázorněné prostřednictvím grafů zobrazujících časové průběhy příchodů cestujících k jednotlivým částem odbavení a dobu trvání odbavení. Další kapitola se zabývá simulačním programem WITNESS - je zde představen samotný program včetně jeho základních funkcí. Předposlední kapitola popisuje samotný proces tvorby jednotlivých simulačních modelů změřených letů v simulačním programu WITNESS. Veškeré výsledky jsou shrnuty v závěru práce.

## **2 Charakteristika procesu odbavení na Letišti Ostrava, a.s.**

Pro pozorování odbavovacího procesu bylo vybráno mezinárodní letiště Leoše Janáčka Ostrava. Jedná se regionální letiště s pravidelným vnitrostátním i mezinárodním provozem. Majitelem letiště je Moravskoslezský kraj a jeho provozovatelem je společnost Letiště Ostrava, a.s. Letiště je dobře dostupné jak pomocí dálnice a rychlostní komunikace, tak i díky železnici, která byla dovedena přímo k letištní odbavovací hale. [3]

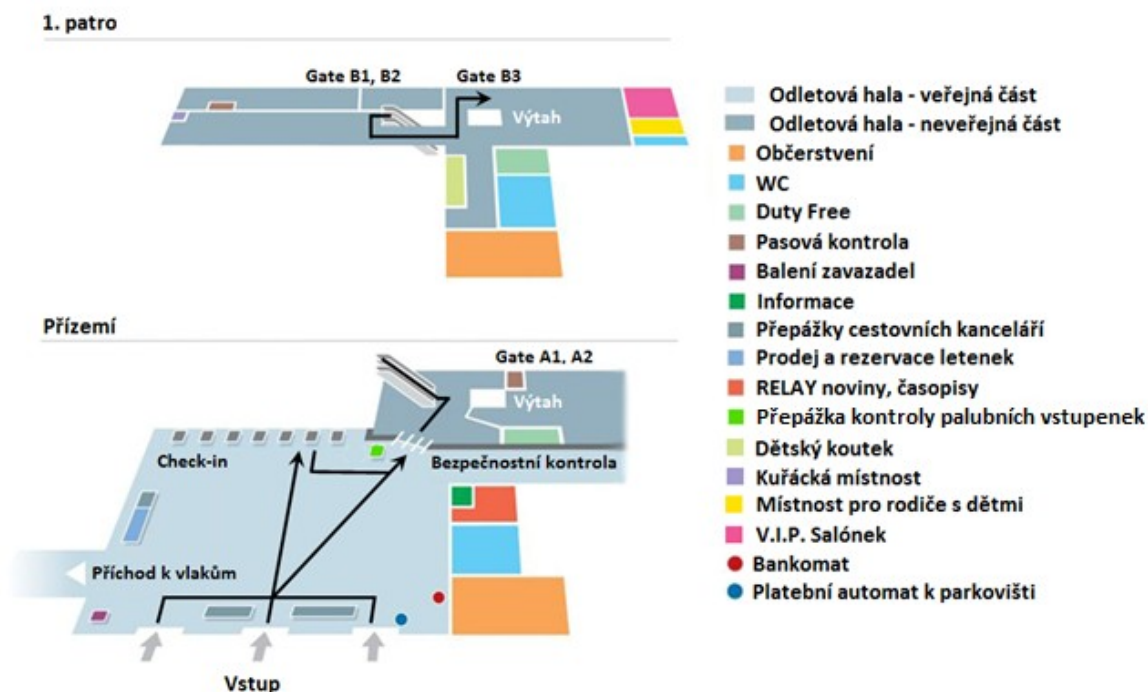
Pro názornost je do přílohy č. 1 diplomové práce zařazen plánec haly Letiště Ostrava, a.s. převzatý přímo ze stránek letiště [2]. Kapacita terminálu je 500 cestujících za hodinu.<sup>[1]</sup> Hala je rozdělena na odletový a příletový úsek. Oba úseky jsou dále děleny na veřejnou a neveřejnou část. Pro tuto práci je důležitý pouze odletový úsek haly. Do veřejné části odletového úseku mají přístup všichni cestující i osoby, které je doprovázejí. Jsou zde k dispozici přepážky cestovních kanceláří, možnost zakoupení či rezervace letenek, 13 odbavovacích přepážek (check-in), informace, sociální zařízení, občerstvení a stánek s časopisy. Neveřejná část se nachází za přepážkami bezpečnostní kontroly. Stejně jako veřejná část obsahuje občerstvení a sociální zařízení, navíc také místnost pro rodiče s dětmi, dětský koutek, VIP salonek, kuřáckou místnost, bezcelní obchody (duty free), pasovou a celní kontrolu a odletové brány.

Proces odbavení cestujících se liší podle cílové destinace letu. Rozdíly jsou v letech do zemí Schengenského prostoru a zemí mimo něj.

### **2.1 Proces odbavení cestujících při letech do Schengenského prostoru**

Schéma toku cestujících při odbavovacím procesu je pro větší přehlednost znázorněno na následujícím obrázku (Obrázek 1). Podklad pro toto schéma byl převzat z [2].

Proces odbavení cestujících po příchodu do odbavovací haly začíná u odbavovacích přepážek (check-in). Tyto přepážky jsou otevírány vždy 2 hodiny před plánovaným časem odletu. Při odbavení musí cestující předložit platný cestovní doklad a dále, především u některých charterových letů, letenku, voucher nebo rezervační kód, případně i víza, jsou-li vyžadována. Cestující u odbavovacích přepážek odevzdávají svá zavazadla, která si neberou s sebou na palubu letadla. Po odbavení dostanou palubní vstupenku, která je nutná pro nástup do letadla a také zavazadlový lístek, který potvrzuje odbavení zavazadel a bude použit při případné reklamaci. Obsluha odbavovacích přepážek je schopna odbavit více cestujících najednou, jde-li například o rodinu. Odbavovací přepážky se uzavírají 30 až 40 minut. [3]



**Obrázek 1:** Schéma toku cestujících při procesu odbavení při letu do Schengenského prostoru

V dnešní době je cestujícím umožněno využít odbavení přes internet před příjezdem na letiště. Toto odbavení lze provést pomocí webových stránek společnosti 30 hodin až 1 hodinu před plánovaným odletem. [4] Internetové odbavení mohou využít cestující s příručními i zapsanými zavazadly. Zapsaná zavazadla je nutno odevzdat na letišti nejpozději 30 minut před plánovaným časem odletu. Kromě internetového odbavení je cestujícím nabízena i možnost mobilního odbavení, které je k dispozici také 30 hodin až 1 hodinu, ve zvláštních případech 1,5 hodiny, před plánovaným odletem.<sup>[4]</sup>

Výhodou těchto odbavení je, že si cestující mohou naplánovat příjezd na letiště později a mohou se vyhnout zdržení u odbavovací přepážky. Pokud nemají zapsaná zavazadla, mohou přistoupit rovnou k bezpečnostní kontrole. Možnost internetového či mobilního odbavení je omezena tím, zda tuto službu nabízí letecká společnost.

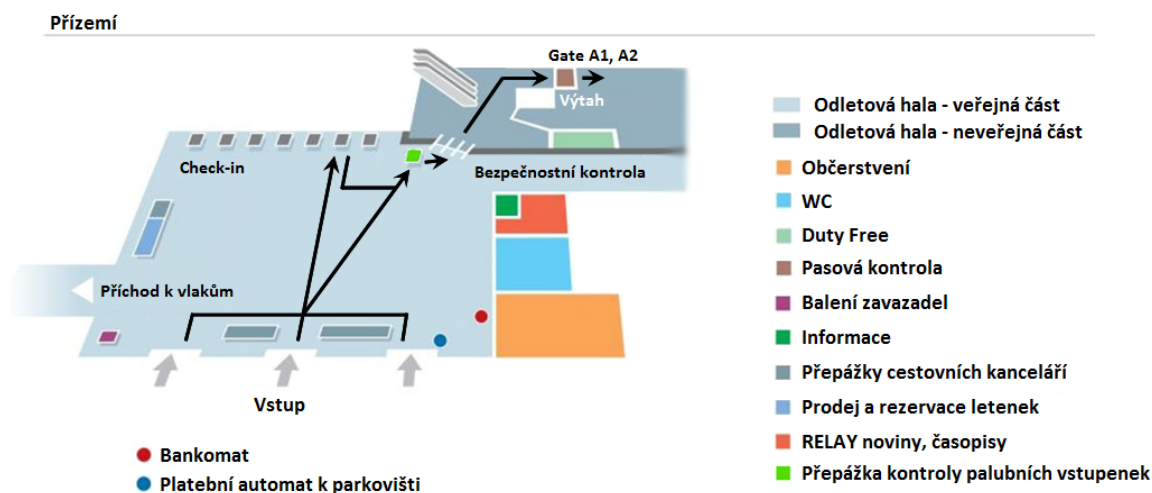
Po odbavení se cestující přesouvají k bezpečnostní kontrole, kde je přítomen pracovník letiště, který jim poskytne informace, jak v průběhu bezpečnostní kontroly postupovat. V první fázi bezpečnostní kontroly si cestující do připravených boxů odloží příruční zavazadlo, svrchní oděv, opasky, hodinky, mobilní telefony a další drobné předměty, které mají u sebe. Tyto věci, uložené v boxech, prochází rentgenovým zařízením, které obsluhuje zaměstnanec letiště a sleduje jejich obsah. Případné dotazy k obsahu příručního zavazadla řeší ihned přímo s cestujícím, kterému toto zavazadlo patří. Obsluha rentgenového zařízení se střídá přibližně po dvaceti minutách, aby si udržela pozornost. Cestující je po odložení věcí do připravených boxů vyzván k průchodu

rámovým detektorem. V případě, že tento detektor upozorní obsluhu, že u cestujícího identifikoval podezřelý předmět, přechází cestující k fyzické kontrole, při které zaměstnanci používají ruční detektory. Rámový detektor může vybírat cestující i namátkově pro udržení pozornosti obsluhy.

Po průchodu bezpečnostní kontrolou se cestující dostávají do neveřejné části odletové haly. Pokud cestují po Schengenském prostoru, je poslední částí nástup do letadla. Ten začíná 30 minut před plánovaným odletem a obsluhují jej zaměstnanci, kteří mají na starost odbavovací přepážky, jelikož ty jsou již uzavřeny. Jde o kontrolu palubní vstupenky, následný přesun k letadlu a samotný nástup. Pro lety do Schengenského prostoru jsou používány odletové brány v prvním patře letištní haly.

## 2.2 Proces odbavení cestujících při letech mimo Schengenský prostor

Schéma toku cestujících při odbavovacím procesu je pro větší přehlednost znázorněno na následujícím obrázku (Obrázek 2). Podklad pro toto schéma byl opět převzat z [2].



Obrázek 2: Schéma toku cestujících při procesu odbavení při letu mimo Schengenský prostor

Při odbavení cestujících na lety mimo Schengenský prostor se nevyskytují žádné změny oproti letům do Schengenského prostoru.

Nízkonákladové společnosti upřednostňují odbavení zdarma přes své webové stránky. Toto internetové odbavení je možné 7 dní až 2 hodiny před plánovaným odletem. V případě, že internetového odbavení cestující nevyužije, lze se odbavit za poplatek na letišti na přepážce prodeje letenek dané společnosti v době 2 hodiny až 40 minut před plánovaným odletem. Cestující, kteří jsou odbaveni online a mají s sebou zapsané zavazadlo, si jej musí nechat odbavit u odbavovací přepážky. 2 hodiny před plánovaným odletem se otevře přepážka kontroly palubních vstupenek, která je umístěna přímo

před bezpečnostní kontrolou. Cestující zde dokládají své online odbavení a palubní vstupenky a přesouvají se přímo do fronty pro bezpečnostní kontrolu, která probíhá shodně jako u letů do Schengenského prostoru.

Zásadní změna při procesu odbavení nastává po průchodu bezpečnostní kontrolou. Cestující pokračují k pasové kontrole, kde musí předložit cestovní doklad, palubní vstupenku, případně i zavazadlový lístek. Poté se dostávají do uzavřeného prostoru v přízemí letištní haly, kde čekají na otevření nástupu do letadla, který začíná 30 minut před plánovaným odletem. Cestující jsou při nástupu rozděleni do dvou skupin. Do jedné jdou cestující, kteří si připlatili za konkrétní místo (priority) a díky tomu nastupují do letadla jako první. Druhou skupinou jsou ostatní cestující (other).

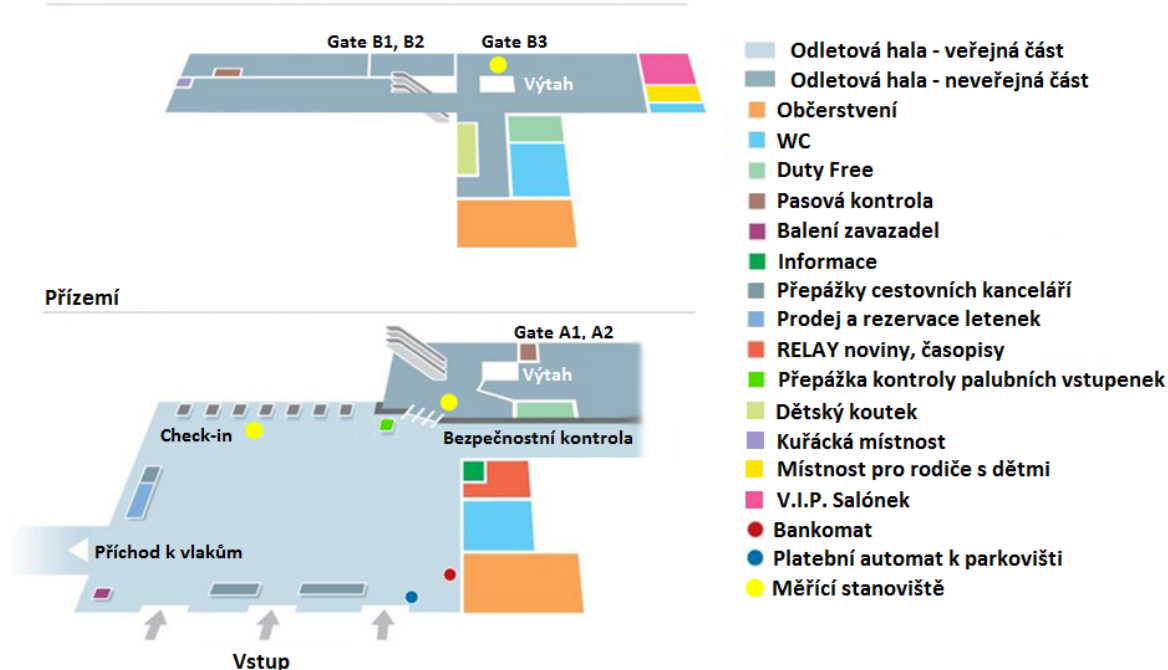
### 3 Popis metodiky získávání vstupních dat pro modelování

Jelikož měření probíhalo až v prosinci roku 2015, tedy mimo sezonu, nebylo možno provést měření pro charterové lety a muselo být přistoupeno k měření pravidelných letů. S vedením letiště bylo dohodnuto, že bude změřen jak let vnitrostátní, tak i let mezinárodní. Vybrán byl den, kdy byl plánován jak vnitrostátní let (dále označován jako let A), tak let mimo Schengenský prostor (dále označován jako let B). K odletu letadla při vnitrostátním letu mělo podle letového plánu dojít v 15:20 (tzn., že začátek odbavení byl v 13:20) a letu mimo Schengenský prostor v 17:45 (tzn., že začátek odbavení byl v 15:45).

K dispozici byli dva měřiči, kteří zapisovali časové údaje příchodů cestujících do fronty k jednotlivým částem odbavení (check-in, bezpečnostní kontrola, nástup), začátek a konec jejich odbavení. Po jednotlivých odbaveních byla sledována navazující činnost cestujících a to, zda se ihned přesunuli k následujícímu bodu odbavení nebo zda odložili další fázi odbavení v čase. Tabulka pro zápis dat je názorně ukázána v příloze č. 2 pro lety do Schengenského prostoru a v příloze č. 3 pro lety mimo něj. S malými úpravami, mezi které může patřit například změna počtu otevřených přepážek, ji lze použít při jakémkoliv dalším měření na letišti. V zápisníku jsou také zohledněny počty cestujících (pokud přišli ve skupinách), ale časy začátku a konce odbavení jsou vždy zaznamenávány pro jednotlivce. Sloupec s názvem fronta označuje, do které z front se cestující zařadili, je-li otevřeno více přepážek. V případě otevření jedné fronty, z níž se cestující dělí k více přepážkám, může být název sloupce zaměněn na označení linky, kterou cestující použili. Z jednotlivých zapsaných časů lze jednoduše vypočíst dobu strávenou ve frontě i v obsluze pro jednotlivé cestující. Zápisník je nastaven na zápis absolutních hodnot času v hodinách, minutách a sekundách. Sekundový časový krok byl zvolen kvůli velmi rychlé obsluze hlavně na nástupu nebo u přepážky kontroly palubních vstupenek.

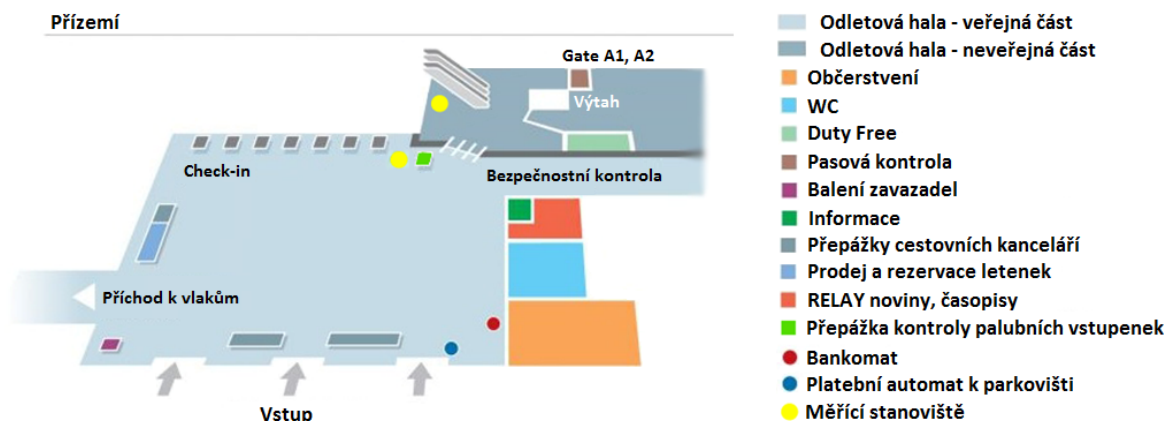
V případě letu A stál první z měřičů poblíž odbavovacích přepážek, kde měřil časy vstupů a výstupů jednotlivých cestujících do front k těmto přepážkám a časy vstupů a výstupů z obsluhy. 40 minut před plánovaným odletem se měřič společně s obsluhou odbavovacích přepážek přesunul k měření nástupu, kde opět zapisoval časy vstupů a výstupů do fronty na nástup a do obsluhy. Druhý z měřičů setrval celých dvě hodiny u přepážky bezpečnostní kontroly, odkud bylo prováděno měření časů vstupů a výstupů do fronty k bezpečnostní kontrole a její obsluhy. Obrázek 3 představuje stanoviště měřičů při vnitrostátním letu A. Podklad pro toto schéma byl převzat z [2].

## 1. patro



Obrázek 3: Rozložení měřících stanovišť v odletové hale při letu A

Při letu B měl první z měřičů stanoviště poblíž odbavovacích přepážek, aby viděl na přepážku kontroly palubních vstupenek a na frontu tvořící se k bezpečnostní kontrole. Zapisoval časy vstupů a výstupů cestujících do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek, časy začátků a konců jejich obsluhy a časy vstupů do fronty před bezpečnostní kontrolou. Druhý z měřičů stál za bezpečnostní kontrolou a zapisoval časy výstupů z fronty na bezpečnostní kontrolu a začátků a konců bezpečnostní kontroly. Obrázek 4 upřesňuje rozmístění měřičů při letu B. Podklad pro toto schéma byl převzat z [2].



Obrázek 4: Rozložení měřících stanovišť v odletové hale při letu B

Jak bylo výše zmíněno, na letišti byli pouze dva měřiči z důvodu co nejmenšího ovlivnění provozu letiště. U vnitrostátního letu byl změřen celý proces odbavení – odbavení, bezpečnostní kontrola i nástup. Malý počet měřičů a rozložení odletové haly, ale zabránil zaznamenání všech informací při letu B. Není zde změřena odbavovací přepážka,

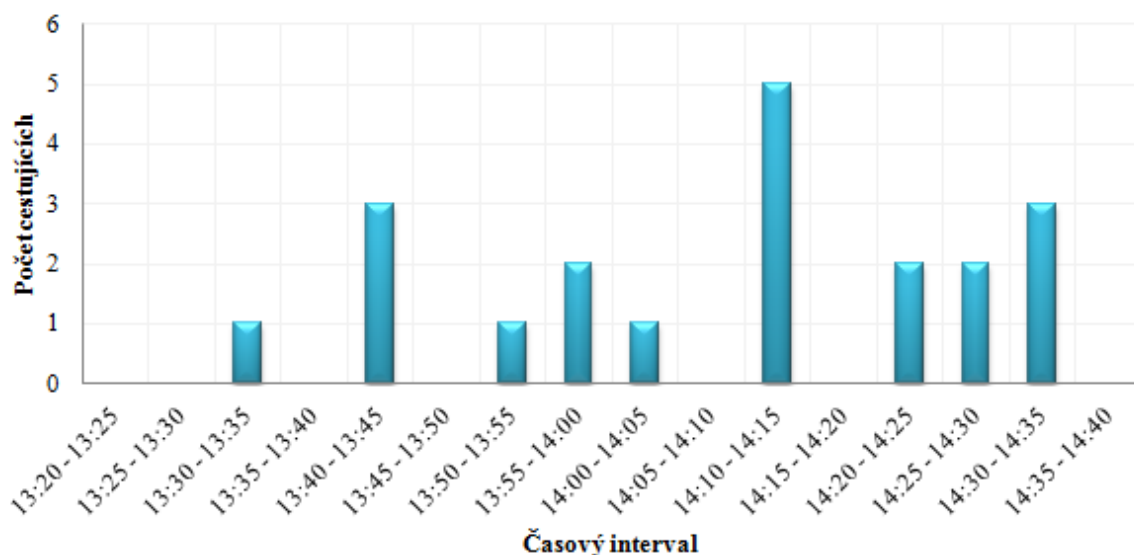


kde byla odbavována a předávána větší zavazadla, u které se vyskytoval jen zlomek cestujících. Znemožněn byl také záznam pasové kontroly, kterou měl mít na starost měřič za bezpečnostní kontrolou (z jeho stanoviště nebylo na přepážky pasové kontroly vidět). Stanoviště měřiče bylo voleno z toho důvodu, aby nepřekážel cestujícím ani obsluze u bezpečnostní kontroly. Také bylo nutno vynechat měření nástupu a to z toho důvodu, aby byl získán ucelený zápis procesu vstupů do fronty k bezpečnostní kontrole u celého souboru cestujících. Z důvodu ochrany firemních dat nejsou vzniklé zápisníky k práci připojeny.

### **3.1 Charakteristika odbavovacího procesu při vnitrostátním letu**

Odbavovací přepážky byly otevřeny dvě hodiny před odletem letadla, tedy v 13:20. Obsluha byla k dispozici u dvou přepážek, ale většinu času mohli příchozí cestující využít pouze jednu z nich. Jedna z přepážek byla určena cestujícím 2. třídy a druhá byla otevřena pro cestující business třídy. Pouze v časech 13:40 – 14:10 a 14:25 – 14:40 byly v provozu obě přepážky. Odbavovací přepážky byly uzavřeny v 14:40. Cestující do fronty k přepážkám přicházeli jednotlivě, případně po dvojicích.

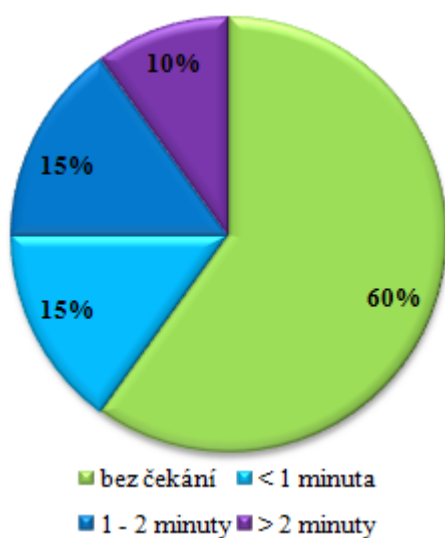
Graf 1 znázorňuje časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám. Doba, po kterou byly přepážky v provozu, byla rozdělena do pětiminutových intervalů, ke kterým byl přiřazen počet příchozích cestujících. Intervaly u všech grafů byly voleny zleva uzavřené a zprava otevřené. První cestující se k odbavení dostavil mezi 13:30 – 13:35, více cestujících přišlo o 10 minut později, tedy v čase 13:40 – 13:45. Jeden až dva lidé se dostavili k přepážkám ve třech intervalech mezi 13:50 – 14:05. Poté, v časovém intervalu 14:10 - 14:15, přišlo 5 cestujících. Půl hodiny před uzavřením přepážek se intervaly mezi příchody cestujících zkracovaly. Ve třech časových intervalech od 14:20 do 14:35 přicházeli k přepážkám dva až tři cestující. Z těchto údajů je zřejmé, že cestující využívali přepážky téměř celou dobu jejich otevření. Nárůst příchodů byl zaznamenán hodinu po otevření přepážek, tedy hodinu před odletem. Vyšší četnost příchodů trvala 25 minut, tedy až do 14:35, což je 15 minut před uzavřením odbavovacích přepážek, tzn. 45 minut před odletem letadla.



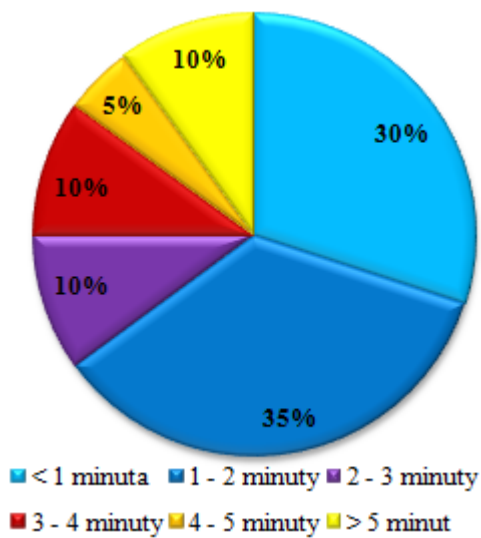
**Graf 1:** Časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám při letu A

Jelikož se k odbavení dostavilo celkem 20 cestujících a přicházeli po malých skupinách nebo jednotlivě, v 60% případů vůbec nemuseli na odbavení čekat ve frontě. 15% cestujících čekalo do jedné nebo do dvou minut a pouze 10% cestujících čekalo ve frontě více než 2 minuty, nejdéle však 2,5 minuty. Graf 2 zobrazuje dobu čekání ve frontě na odbavení při letu A.

Graf 3 vykresluje, jak dlouho trvalo samotné odbavení při letu A. Odbavení bylo ve většině příkladů rychlé. U 30% cestujících trvalo méně než minutu a u dalších 35% bylo odbavení hotovo do dvou minut. 10% cestujících strávilo u přepážky do 3 a do 4 minut. Pro 5% cestujících trvalo odbavení 4 – 5 minut. 10% cestujících byl u odbavovací přepážky více než 5 minut. Nejdelší odbavení trvalo 6 minut a 50 sekund.

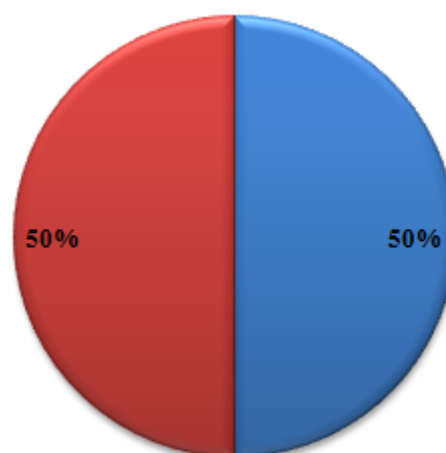


**Graf 2:** Doba čekání ve frontě na odbavení při letu A



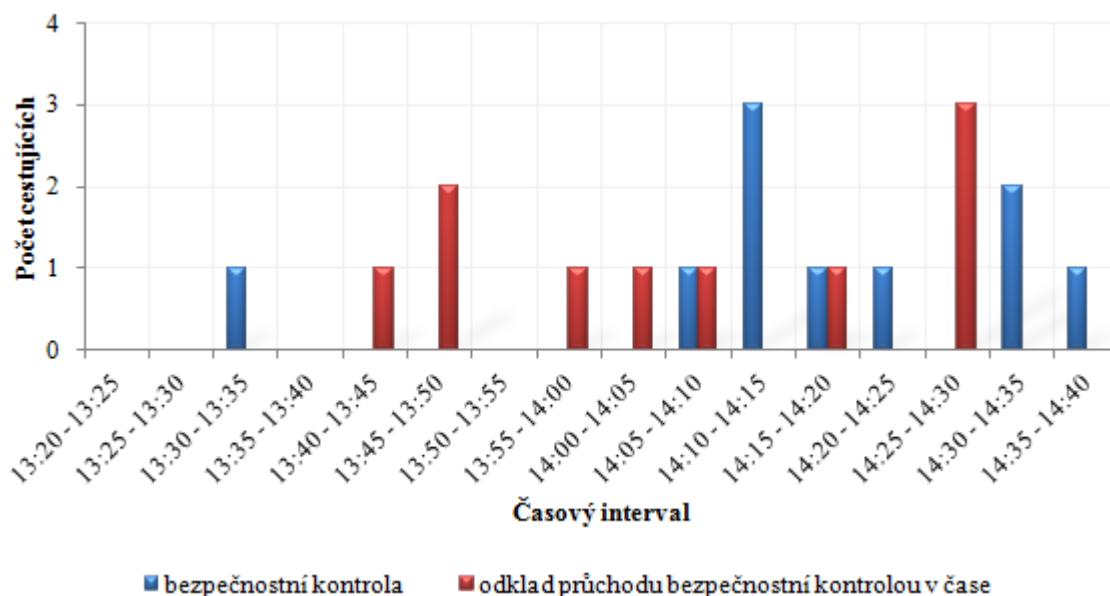
**Graf 3:** Doba odbavení při letu A

Dále byla sledována činnost cestujících po odbavení. Zapisovány byly dva stavy a to, když se cestující ihned po odbavení přesunuli k bezpečnostní kontrole nebo naopak, když absolvování bezpečnostní kontroly odložili v čase. Ze sledování plyne, že tyto činnosti byly rozděleny přesně na polovinu (Graf 4).



**Graf 4:** Činnost cestujících po odbavení při letu A

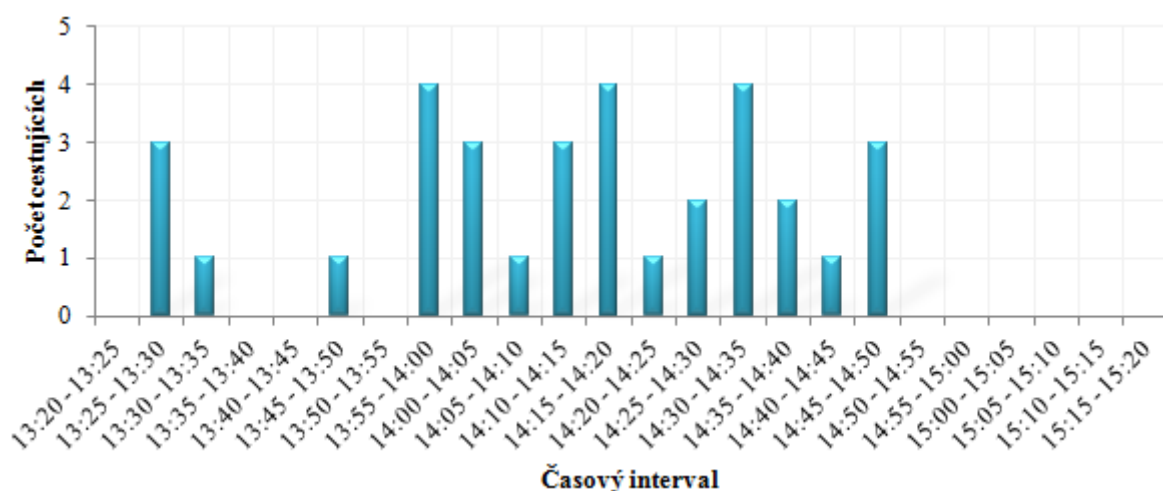
Graf 5 představuje rozložení činností cestujících v čase otevření odbavovacích přepážek. První cestující, který přišel již v 13:30, se přesunul přímo k bezpečnostní kontrole, ale poté až do 14:05 všichni cestující po odbavení odložili průchod bezpečnostní kontrolou v čase. Od 14:05 cestující opět začali směřovat bezprostředně po odbavení k bezpečnostní kontrole, ale stále zůstávali i cestující odkládající bezpečnostní kontrolu v čase. Překvapivý je nárůst počtu cestujících v časovém intervalu 14:25 – 14:30, kdy cestující i přesto, že se blížil čas odletu, preferovali odložení dalšího odbavení v čase. Cestující, kteří zahájili odbavení po čase 14:30, přecházeli po skončení úvodního odbavení přímo k bezpečnostní kontrole.



**Graf 5:** Navazující činnost cestujících po odbavení při letu A v čase

Souběžně se sledováním odbavovacích přepážek probíhalo i pozorování průběhu bezpečnostní kontroly. Bezpečnostní kontrola byla stejně jako odbavovací přepážky otevřena od 13:20, ale uzavřena byla až v 15:20. V provozu byla jedna linka bezpečnostní

kontroly. Cestující do fronty přicházeli jednotlivě nebo po dvojicích. Doba provozu bezpečnostní kontroly byla opět rozdělena do pětiminutových intervalů, ve kterých byly sledovány počty příchozích cestujících (Graf 6). Z grafu je zřejmé, že první cestující k bezpečnostní kontrole přistoupili již v intervalu 13:25 – 13:30 a to celkem 3. I v následujících pěti minutách přišel cestující. Následovala desetiminutový interval, ve kterém žádný cestující nepřišel a další cestující se objevil až v intervalu 13:45 – 13:50. Větší počet cestujících začal přicházet od intervalu 13:55 – 14:00. Od této doby cestující přicházeli ve větších či menších počtech v každém intervalu až do intervalu 14:45 – 14:50 (tedy půl hodiny před odletem), kdy přišli poslední cestující.



**Graf 6:** Časový průběh příchodů cestujících k bezpečnostní kontrole při letu A

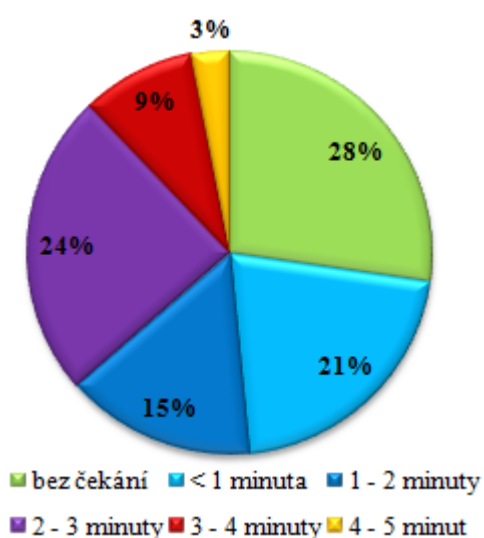
Rozdíl mezi počtem cestujících, kteří prošli odbavením a bezpečnostní kontrolou, byl způsoben tím, že někteří z cestujících využili on-line odbavení.

Graf 7 představuje dobu čekání cestujících ve frontě na bezpečnostní kontrolu při letu A. Jelikož i zde přicházeli cestující i jednotlivě, ne všichni byli nuceni čekat ve frontě, jelikož se dostali do obsluhy bezpečnostní kontroly ihned po příchodu. Takových cestujících bylo 28% z celkového počtu. Následovaly tři přibližně stejně velké skupiny čekajících cestujících ve frontě – 21% čekalo méně než 1 minutu, 15% čekalo 1 – 2 minuty a 24% čekalo 2 – 3 minuty. O poznání menší 9% skupina cestujících čekala 3 – 4 minuty a pouze 3% cestujících se ve frontě zdrželo 4 – 5 minut. Nejdelší čekací čas byl 4,5 minuty, který nastal při příchodu 4 cestujících v časovém intervalu 14:15 – 14:20.

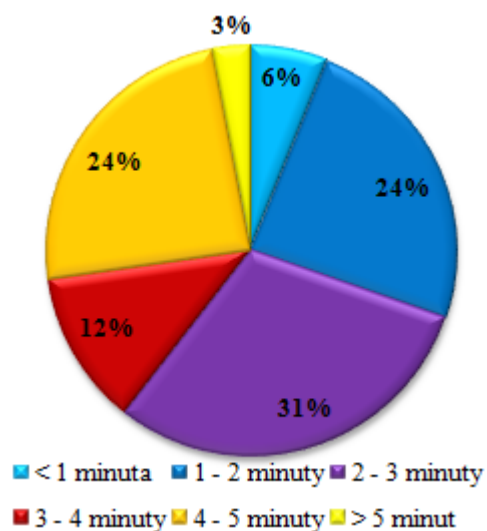
Délka bezpečnostní kontroly je značně individuální, což dokazuje i Graf 8. 6% cestujících bezpečnostní kontrolou prošlo za méně než 1 minutu, 24% cestujícím bezpečnostní kontrola trvala 1 – 2 minuty. Nejvíce, tedy 31%, cestujících bezpečnostní kontrolou strávilo 2 – 3 minuty. 12% cestujících se zdrželo 3 – 4 minuty. 24% cestujících

strávilo v bezpečnostní kontrole 4 – 5 minut. 3% cestujících zde strávilo více než 5 minut, kde bylo maximum 6 minut a 48 sekund.

Bezpečnostní kontrola probíhala tak, že když cestující přišli u linky na řadu, začal se jim věnovat pracovník letiště, který jim vysvětlil, co si mají odložit a nechat zkontrolovat na páse v připravených boxech, následně cestující prošel bezpečnostním rámem. Zde docházelo ke zdržení v případech, že si cestující zapomněl odložit do boxu například hodinky nebo když nastala namátková kontrola. Následovala konzultace s cestujícím, pokud došlo k nějakým nesrovnalostem v odložených věcech nebo v příručním zavazadle, které si cestující brali s sebou na palubu letadla, což bylo také značně individuální.

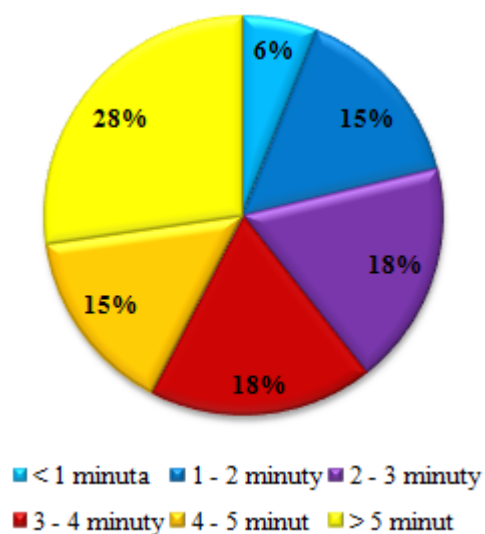


**Graf 7:** Doba čekání ve frontě na bezpečnostní kontrolu při letu A



**Graf 8:** Doba bezpečnostní kontroly při letu A

Jelikož let A není letem mimo Schengenský prostor, nedocházelo k pasové kontrole. Cestující po bezpečnostní kontrole pouze čekali na otevření možnosti nástupu do letadla. Jelikož nástup začíná vždy 30 minut před odletem letadla a věnuje se mu obsluha odbavovacích přepážek, bylo možné pozorovat průběh i zde. Nástup byl tedy zahájen v 14:56 a všichni cestující se ihned postavili do fronty. Graf 9 ukazuje, jak bylo rozděleno časově čekání ve frontě. Díky rychlé obsluze nástupu 6% cestujících ve frontě strávilo méně



**Graf 9:** Doba čekání ve frontě na nástup při letu A

než jednu minutu. 15% cestujících čekalo 1 – 2 minuty. 18% cestujících bylo ve frontě 2 – 3 minuty a 3 – 4 minuty. Dalších 15% cestujících se ve frontě zdrželo 4 – 5 minut. Díky tomu, že se všichni cestující postavili do fronty najednou, neúměrně vzrostla doba čekání poslední skupiny – 28% cestujících, kteří ve frontě strávili více než 5 minut. Nejdelší čas čekání byl 6 minut a 19 sekund. Celkově probíhala obsluha nástupu velmi rychle, žádný z cestujících se v obsluze nezdržel více než 19 sekund.

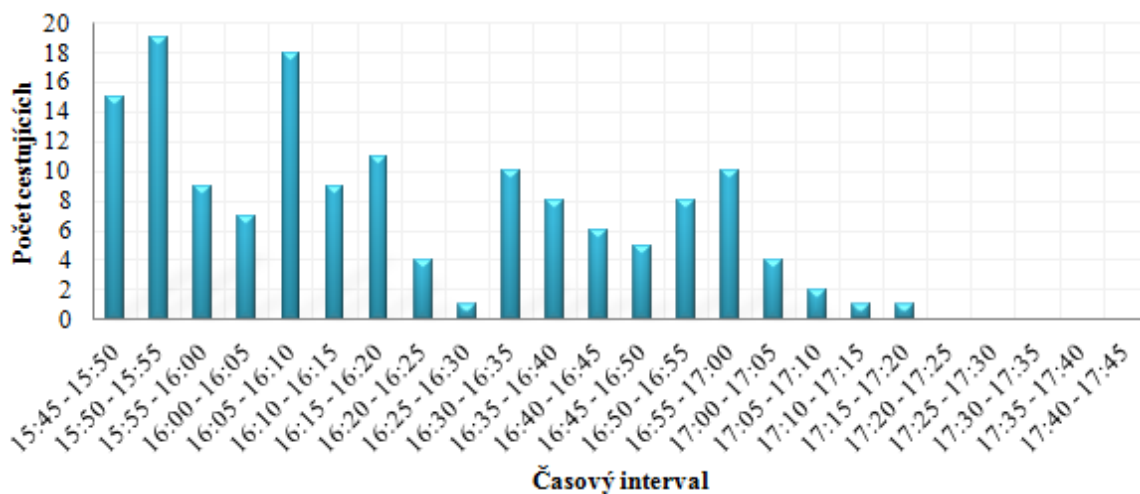
### **3.2 Charakteristika odbavovacího procesu při letu mimo Schengenský prostor**

Situace při sledování cestujících před letem B byla značně odlišná. První změna nastala již při odbavení, kdy většina cestujících využila online odbavení, a proto nemuseli chodit k odbavovacím přepážkám. Systém se také lišil kvůli tomu, že šlo o nízkonákladovou leteckou společnost.

Odbavovací přepážka sice byla otevřena, ale protože byli k dispozici pouze dva měřiči, a také s přihlédnutím k tomu, že zde byl odbaven jen zlomek cestujících, nebyla tato data zapsána a sledovala se jen přepážka kontroly palubních vstupenek před bezpečnostní kontrolou na přepážce kontroly palubních vstupenek. Jak tato kontrola, tak odbavovací přepážka byly otevřeny 2 hodiny před odletem, tedy v 15:45.

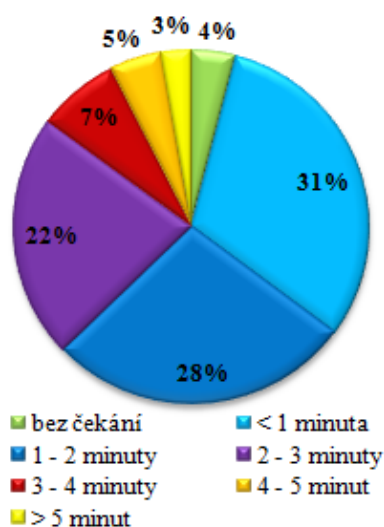
Graf 10 představuje příchody cestujících k odbavení v čase. Doba otevření byla rozdělena do pětiminutových intervalů, ke kterým byly přiřazeny počty přichodících cestujících v těchto intervalech. Intervaly u všech grafů byly voleny zleva uzavřené a zprava otevřené. Velká část cestujících již čekala na letišti a ihned po otevření se zařadili do fronty. To znamená, že v prvních pěti minutách (15:45 - 15:50) přišlo 15 cestujících a v následujícím intervalu se dostavilo dalších 19 cestujících, v následujících dvou intervalech počty příchodů začaly mírně klesat pod 10 cestujících. V časovém intervalu 16:05 – 16:10 byl opět zaznamenán nárůst, ale v následujících dvou intervalech opět počty přichodících cestujících klesly přibližně na 10 cestujících a hodnoty dále klesaly. V časovém intervalu 16:30 - 16:35 přišlo opět 10 cestujících a v následujících třech intervalech počty klesaly vždy o jednoho cestujícího. Ve dvou intervalech v čase 16:50 – 17:00 vznikl poslední nárůst na 8 a poté 10 cestujících. V posledních intervalech se počty opět snižovaly. Poslední cestující se dostavil v 17:16, tedy 29 minut před samotným odletem. Dalo by se říci, že většina cestujících přišla ke kontrole hned po otevření, poté začal počet příchodů klesat. Další nárůst příchodů nastal 45 minut po otevření a půl hodiny se držel v téměř neměnné hladině. Od 17:00, tedy 45 minut před odletem začaly již příchody

radikálně klesat. Cestující přicházeli v různě velkých skupinách, od jednotlivců, přes dvojice až po čtyř až pětičlenné skupiny cestujících.

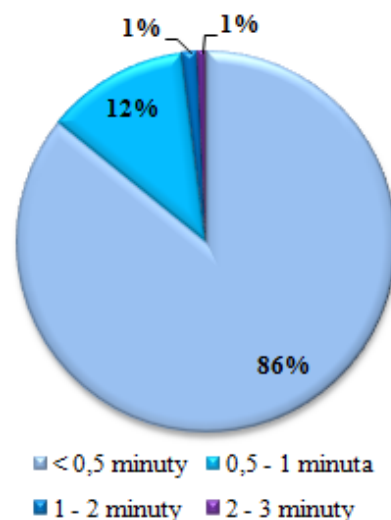


**Graf 10:** Časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám při letu B

Ze zaznamenaných příchodů lze vyjádřit dobu čekání cestujících ve frontě (Graf 11). 4% cestujících přešla rovnou k odbavení, celých 31% cestujících čekalo necelou minutu, 28% čekalo 1 – 2 minuty. Třetím nejpočetnějším intervalem času čekání je 2 – 3 minuty s 22% cestujících. 7% cestujících strávilo ve frontě 3 – 4 minuty a 5% 4 – 5 minut. Zbývá 3% skupina, která byla zdržena více než 5 minut. Nejdelší čas strávený ve frontě je 8 minut a 20 sekund. Poměrně malá doba čekání je dána rychlostí odbavení (Graf 12). Drtivá většina cestujících – celých 86% - prošlo již do půl minuty a pouze 12% se zde zdrželo mezi půl minutou a minutou. Do celku zbývají pouze 2%, ze kterého polovina nepřesáhla dobu obsluhy 2 minuty a druhá polovina nepřesáhla 3 minuty. Nejdelší čas v obsluze byl 2 minuty a 1 sekunda.

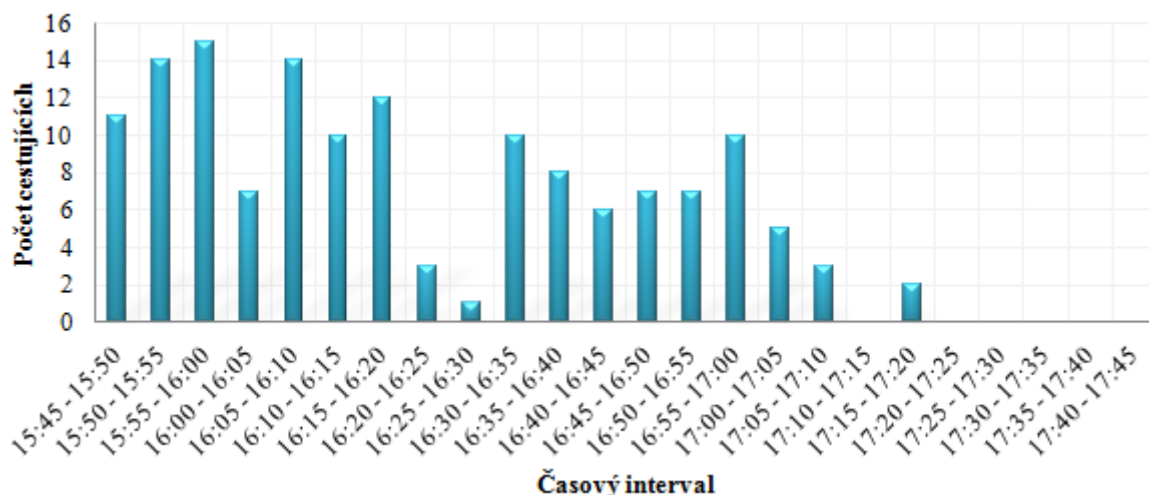


**Graf 11:** Doba čekání ve frontě na odbavení při letu B



**Graf 12:** Doba odbavení při letu B

Jelikož tato rychlá kontrola online odbavení je umístěna před vstupem do bezpečnostní kontroly, cestující, kteří ji absolvovali, postupovali přímo do fronty bezpečnostní kontroly. To je také důvodem, proč graf vstupů k bezpečnostní kontrole (Graf 13) s určitým časovým posunem téměř kopíruje graf vstupu do fronty k odbavení (Graf 10). Hned po otevření bezpečnostní kontroly v 15:45 se dostavilo 11 cestujících, v následujících dvou intervalech jejich počet ještě narůstal až na 15 cestujících za 5 minut. V intervalu 16:00 – 16:05 nastal pokles příchodů na 7 cestujících, ale již v dalším intervalu znovu vzrostl na 14 cestujících a po další dva intervaly se držel nad 10 cestujícími za 5 minut. V následujících dvou intervalech přišli pouze 3 cestující a následně pouze jeden. V intervalu 16:30 – 16:35 ale opět počet přicházejících do fronty vzrostl na 10 cestujících a tato hodnota s odchylkou dvou až čtyř cestujících se udržela celou půlhodinu, tedy až do 17:00. Poté začal počet cestujících opět klesat. V časovém intervalu 17:10 – 17:15 do fronty nepřibyl žádný cestující, poslední se objevil až v 17:16.



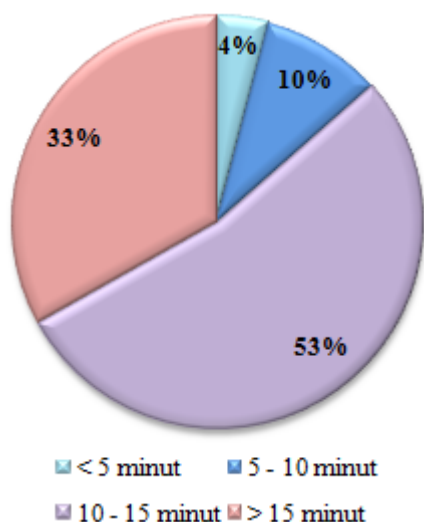
**Graf 13:** Časový průběh příchodů cestujících k bezpečnostní kontrole při letu B

Jelikož doba obsluhy bezpečnostní kontroly byla značně delší než průchod odbavením, nastávaly delší čekací časy ve frontě (Graf 14). Pouze 4% cestujících čekalo méně než 5 minut. Další 10% skupina cestujících ve frontě strávila 5 – 10 minut. Nejčastější čekací čas ve frontě byl mezi 10 a 15 minutami. Tuto dobu ve frontě stálo celých 53% cestujících. Zbylých 33% na bezpečnostní kontrolu čekalo více než 15 minut. Nejdelší čas strávený ve frontě na bezpečnostní kontrolu byl 19 minut a 23 sekund. Pro bezpečnostní kontrolu byly otevřeny 2 linky, nicméně fronta vznikala pouze jedna. Cestující přistupovali k té z linek, které byla právě volná. Graf 15 představuje dobu strávenou v bezpečnostní kontrole.

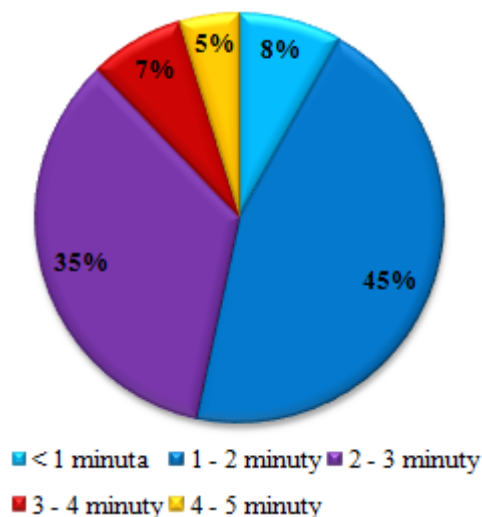
8% cestujících prošlo bezpečnostní kontrolou za necelou minutu. Největší skupina cestujících, celých 45% byla zkontrolována do dvou minut a 35% do tří. Následuje 7%



cestujících s časem maximálně 4 minuty a poslední 5% skupina byla zkontrolována do 5 minut, maximálně však 4 minuty a 48 sekund. Bezpečnostní kontrola probíhala stejně jako při vnitrostátním letu. Jelikož lidé k linkám přistupovali bez časových rozestupů, nastávaly situace, kdy byli na jedné lince připravováni a kontrolováni 2 až 3 cestující. To bylo hlavně z důvodů problémů při průchodu bezpečnostním rámem nebo při nesrovnalostech v obsahu příručních zavazadel.



**Graf 14:** Doba čekání ve frontě na bezpečnostní kontrolu při letu B



**Graf 15:** Doba bezpečnostní kontroly při letu B

Po bezpečnostní kontrole následovala pasová kontrola. Cestující většinou po ukončení bezpečnostní prohlídky pokračovali přímo do fronty k ní. Bohužel z důvodu umístění stanovišť pasové kontroly a pozice měřičů, nebylo možno zaznamenat tato data pouze ve dvou lidech. Po pasové kontrole cestující čekali v oddělené místnosti na vyzvání na nástup. Ten také z výše uvedeného důvodu nebyl zaznamenán.

## 4 Charakteristika vhodných nástrojů pro modelování

### 4.1 Simulační program WITNESS

Simulační program WITNESS, podporující dynamickou simulaci, je produktem britské společnosti LannerGroup Ltd. V České republice je distribuován firmou DYNAMIC FUTURE s.r.o, která se věnuje logistickému poradenství.

Firmy si v dnešní době, kdy je na trhu vysoká konkurence, musí umět udržet své místo a snažit se své služby co nejvíce přizpůsobit potřebám zákazníků. Tyto kroky vedou k častým, ale ne vždy úspěšným, změnám v chodu firmy. Neúspěšné změny mají vliv i na finanční stránku firmy. Proto je důležité, aby jednotlivé kroky vedoucí ke změnám, byly pečlivě naplánovány. Výhodou je využití simulačních programů. Jejich cena je nižší než náprava případných chyb ve změnách fungování firmy.

V případě, že si firma nasimuluje v programu své pracovní prostředí, může zjistit i důsledky technologických či organizačních změn, což snižuje riziko špatného rozhodnutí. Výsledkem této simulace je možnost volby optimálního řešení před samotnou realizací neuvážených a nepodložených změn ve firmě.

Program WITNESS je vydáván ve dvou verzích. První verze je věnována oblasti výroby a logistiky a její název je „Manufacturing Performance Edition“. Druhá z verzí „Service and Process Performance Edition“ je určena pro oblast služeb. Samotný program lze doplnit moduly, které mohou zahrnovat:

- optimalizaci procesů,
- návrh a vyhodnocení experimentů,
- prezentaci výsledků simulace,
- zobrazení v prostředí virtuální reality,
- výměnu informací mezi programem WITNESS a Microsoft VISIO,
- propojení s CAD/CAM systémy,
- dokumentaci modelů,
- získávání informací z rozsáhlých souborů dat. [5]

Program WITNESS je neustále vyvíjen. Za zmínku stojí jedna z posledních verzí - verze WITNESS 14, která vylepšuje grafickou stránku animace simulací v programu, zejména 3D vizualizaci. Ta je vyvíjena společností Virtalis, která je partnerskou společností výše zmíněné společnosti Lanner. 3D architektura je založena na tom, že lze

jediným kliknutím přetransformovat již zpracovaný model ve 2D na 3D model bez další práce. Výhodou je také jednoduché připojení otevřených knihoven s 3D objekty, díky kterým si může uživatel libovolně model upravovat podle svých představ. Důležitý je také vyšší výkon, který zajišťuje výrazně rychlejší fungování modelů.

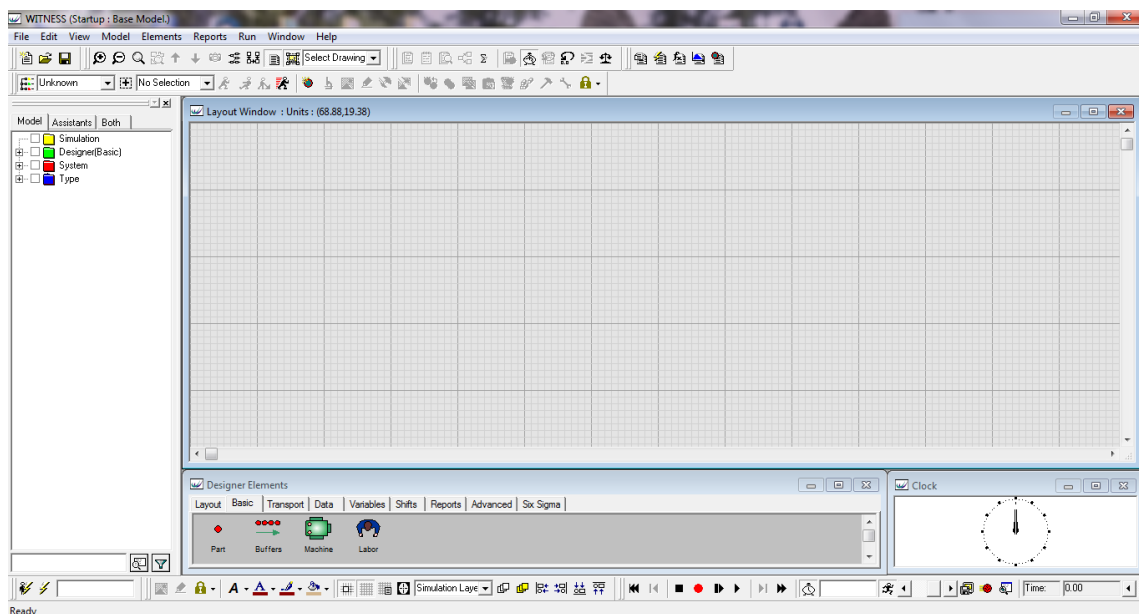
Na začátku dubna 2016 byla uživatelům představena nová verze WITNESS HORIZON.

Simulace v této práci jsou vytvářeny ve verzi programu WITNESS 2008 Manufacturing Performance Edition, jejíž plná verze byla poskytnuta školou a díky níž nebylo řešení omezeno pouze rozsahem demoverze tohoto programu.

## **4.2 Základní funkce programu WITNESS [6]**

### **4.2.1 Popis prostředí programu WITNESS**

Obrázek 5 zobrazuje prostředí programu WITNESS. V horní části otevřeného okna programu je umístěno klasické menu. Toto menu umožňuje přístup k veškerým funkcím programu, stejně tak i k základním funkcím jako je tvorba nového modelu, ukládání nebo tisk. Okno vlevo se nazývá *Element selektor*. V tomto okně se pod záložkou *Model* zobrazuje seznam veškerých prvků, které jsou do modelu vloženy. V záložce *Assistants* lze pro změnu zobrazit veškerá pravidla a funkce modelu. Vpravo od tohoto okna se nachází okno *Layout Window*, ve kterém probíhá sestavení simulačního modelu z jednotlivých prvků a jejich nastavení. Vlevo pod tímto oknem se nachází okno *Designer Elements*, které slouží k výběru a vkládání prvků potřebných pro tvorbu simulačního modelu. Vpravo pak okno *Clock*, ve kterém se nacházejí analogové hodiny, které jsou využívány pro zobrazování času při běhu simulace. V dolní části základního okna se nachází také panel, který slouží k ovládání simulačního běhu.



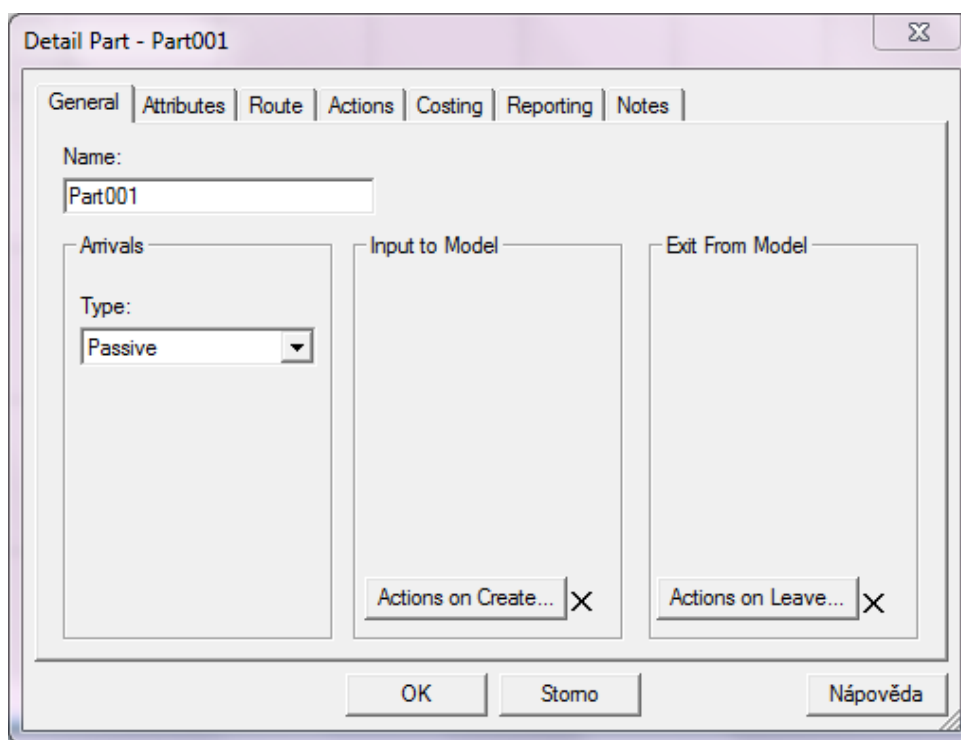
Obrázek 5: Prostředí simulačního programu WITNESS

#### 4.2.2 Základní prvky pro tvorbu simulace

Pro tvorbu simulačního modelu se používají čtyři základní prvky. Všechny jsou umístěny v okně *Designer Elements* v záložce *Basic*. Prvním z těchto prvků je **Součást (Part)**. Jde o dynamický prvek, procházející celou simulací od vstupu, přes zpracování až pro samotný výstup z modelu. Může se jednat například o kontejnery, silniční vozidla nebo o zákazníky při simulaci systému hromadné obsluhy. Obrázek 6 představuje okno základního nastavení součásti. U každé součásti může být změněn její název (*Name*). Všechny prvky v modelu musí mít jedinečný název, který je bez diakritiky a bez mezer, aby nedocházelo k chybám ve funkčnosti simulace. Dále je nutné nastavit typ součásti (*Type*). WITNESS nabízí tři typy součástí:

- **pasivní (Passive)**,
- **aktivní (Active)**,
- **aktivní s profilem (Active with profile)**.

Pasivní součást vstupuje do modelu pouze, když je vyvolána jiným prvkem, například strojem, který ji požaduje. Aktivní součást vstupuje do modelu sama díky nastaveným časům mezi příchody jednotlivých součástí do modelu. Typ aktivní s profilem zajišťuje také samostatný vstup součástí, ale s tím rozdílem, že jsou jednotlivé příchody nastaveny pomocí vstupního profilu (*Arrival profile*), ve kterém jsou definovány počty vstupujících součástí v jednotlivých časových intervalech.



**Obrázek 6:** Základní nastavení součásti

Poslední věcí, kterou lze v základním nastavení součásti nastavit je definice akcí při vytvoření součásti (*Actions on Create...*) a na výstupu součásti z modelu (*Actions on Leave...*). V obou případech jde o nastavení akcí, které jsou prováděny vždy při vstupu nebo výstupu součásti do nebo z modelu. Může se jednat například o provedení výpočtů.

Možnosti základního nastavení se rozšiřují s volbou typu součásti. Obrázek 7 ukazuje další možnost nastavení aktivního typu součásti. Zde lze nastavit maximální počet součástí (*Maximum Arrivals*), které mohou do simulačního modelu vstoupit. Čas vstupu první součásti do modelu (*First Arrival At*), který lze zadat jak konstantní hodnotou tak i pomocí náhodné proměnné. Všechny časy v modelu musí být zadány ve stejných jednotkách, aby model fungoval správně. Kromě času vstupu první součásti je možno vytvořit i směnu (*Shift*), podle které se řídí vstupy do modelu. Tvorba směny je popsána dále v textu. Časy mezi vstupy po sobě následujících součástí (*Inter Arrival Time*) se opět mohou definovat jako konstanta nebo náhodná proměnná. Nastavit lze také počet součástí, které do modelu vstupují v jedné dávce (*Lot Size*). Poslední z možností je definice výstupního pravidla součásti (*To...*), které říká součásti, kam má po vstupu do modelu směřovat.

Detail Part - Part001

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name: Part001

Arrivals

Type: Active

Maximum Arrivals: Unlimited

First Arrival At: 0.00

Shift: Undefined

Input to Model

Inter Arrival Time: Undefined

Lot Size: 1

To...

Wait

Actions on Create... X

Exit From Model

Actions on Leave... X

OK Stomo Nápověda

**Obrázek 7:** Základní nastavení aktivního typu součásti

Podobné je základní nastavení součásti typu aktivní s profilem. Obrázek 8 znázorňuje, že zde lze nastavit jako při aktivním typu součásti maximální počet součástí (*Maximum Arrivals*), směnu (*Shift*), počet součástí vstupující v jedné dávce (*Lot Size*) a samozřejmě definování výstupního pravidla součásti (*To...*).

Detail Part - Part001

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Arrival Profile | Notes

Name: Part001

Arrivals

Type: Active with profile

Maximum Arrivals: Unlimited

Shift: Undefined

Input to Model

Lot Size: 1

To...

Wait

Actions on Create... X

Exit From Model

Actions on Leave... X

OK Stomo Nápověda

**Obrázek 8:** Základní nastavení součásti typu aktivní s profilem

**Zásobník** (*Buffers*) poskytuje možnost modelování front, případně skladů. Jeho základní nastavení představuje Obrázek 9. Stejně jako u součásti je zde možnost změny názvu zásobníku (*Name*). Dále lze nastavit kvantita zásobníku (*Quantity*), která představuje počet stejných zásobníků zařazených paralelně vedle sebe, a kapacitu zásobníku (*Capacity*), která udává maximální počet součástí nacházejících se současně v daném zásobníku. Následuje nastavení na vstupu součásti do zásobníku (*Input*), kde lze volit z několika možností:

- řazení na konec fronty (*Rear*),
- řazení na začátek fronty (*Front*),
- řazení do fronty (*At*) - při této volbě je nastavováno, na kterou pozici ve frontě bude nově příchozí součást dosazována (*Input Position*),
- řazení podle atributu (*By attribute*), kdy musí být zadán název atributu (*Attribute name*) podle kterého je řazení prováděno a také způsob řazení (*Sort Into*) a to volbou mezi sestupným (*Descending*) a vzestupným (*Ascending*) řazením.

**Obrázek 9:** Základní nastavení zásobníku

Následuje nastavení zdržení součásti v zásobníku (*Delays*), kde lze volit z několika možností:

- součást se v zásobníku nezdrží, pokud může ihned po příchodu pokračovat dále do modelu (*None*),

- součást se zdrží minimální definovaný čas (*Min*), tento čas je zadáván do kolonky (*Minimum Time*), může být přiřazena i směna, podle které bude zdržení součásti ve frontě vyvíjet (*Shift*), její upřesnění (*Allowance*), nastavení akcí vztahujících se k tomuto času (*Actions on Min...*),
- součást se zdrží maximální definovaný čas (*Max*) – nastavení zde je obdobné jako v předchozím případě, přibývá zde možnost nastavení koncového pravidla (*Exit Rule*), které umožňuje odesílat součásti ze zásobníku,
- možnost, kdy je definován jak minimální, tak maximální čas, který může součást v zásobníku strávit (*Both*),
- opakující se maximální čas (*Max Repeat*),
- opakující se čas ohraničení minimem i maximem (*Both Repeat*).

Následuje nastavení pozice, ze které jsou vybírány součásti při výstupu součásti ze zásobníku (*Output*):

- z první pozice (*First*),
- maximální (*Maximum*),
- minimální (*Minimum*),
- z jakékoliv pozice (*Any*),
- výběr pomocí zadané podmínky (*Conditional*).

Na závěr lze definovat akce při vstupu součásti (*Actions on Input...*) a na výstupu součásti ze zásobníku (*Actions on Output...*). V obou případech jde o nastavení akcí, které jsou prováděny vždy při vstupu nebo výstupu součásti do nebo ze zásobníku. Může se jednat například o provedení výpočtů.

V programu existuje několik fiktivních zásobníků, které jsou předdefinovány. Patří zde například zásobník **WORLD**, který slouží k výběru neomezeného množství pasivních součástí. Naopak zásobník **SHIP** slouží k odeslání součástí z modelu.

**Stroj** (*Machine*) představuje buď fyzický stroj, nebo proces, který zpracovává jednotlivé součásti. Jako u předchozích prvků lze nastavit jméno stroje (*Name*) a stejně jako u zásobníku i kvantitu (*Quantity*). Novým polem je priorita stroje (*Priority*). Tato možnost je důležitá pro pracovníky, kteří mají nastavenou obsluhu více strojů současně. Pracovník pak volí, který stroj bude obsluhovat, podle jeho nastavené priority. Nejvyšší priorita je určena číslem 1, nejnižší pak 0 (případně *Lowest*).



Důležitý je výběr typu stroje (*Type*):

- **jednoduchý stroj** (*Single*) – do takového stroje vstupuje pouze jediná součást a stejně tak pouze jedna součást ze stroje vystupuje,
- **dávkový stroj** (*Batch*) zpracovává součásti po dávkách - do stroje vstupuje  $n$  součástí (minimální (*Batch Min*) i maximální (*Batch Max*) hodnotu vstupu lze nastavit) stejně tak  $n$  součástí vystupuje ze stroje,
- **montážní stroj** (*Assembly*) – do tohoto stroje vstupuje předem zvolený počet součástí (*Input – Quantity*), které stroj spojí tak, aby na výstupu byla pouze jediná součást,
- **produkční stroj** (*Production*) funguje přesně obráceně než montážní stroj – do stroje vstupuje jedna součást, kdežto na výstupu je předem zvolený počet součástí, u kterých musí být určen jejich typ (*Part Type*),
- **obecný stroj** (*General*) - vstupuje do něj  $n$  součástí na a vystupuje  $m$  součástí,
- **násobný cyklus** (*Multiple Cycle*),
- **násobná stanice** (*Multiple Station*).

Na vstupu (*Input*) se nastavuje, odkud součásti do stroje přichází (*From...*) a akce, které se při vstupu uskutečňují (*Actions on Input...*), případně počet vstupujících součástí, což záleží na volbě typu stroje. Důležité je zdůraznit, že by pravidla neměla být nastavována proti sobě, tedy například je-li nastaveno u součásti, že po vytvoření vstupuje do stroje, nenastavuje se u stroje, odkud má brát součást - stroj pouze čeká (*Wait*). Důležité je nastavení operačního času stroje (*Cycle Time*), který říká, jak dlouho trvá zpracování jedné součásti. Může být nastavena konstanta nebo náhodná proměnná.

V nastavení stroje lze přiřadit předem vložený pracovník (*Labor Rule...*) a akce na začátku (*Actions on Start...*) nebo na konci (*Actions on Finish...*) pracovního cyklu stroje. Na výstupu (*Output*) lze nastavit kam součást v modelu pokračuje po opuštění stroje (*To...*), akce na výstupu ze stroje (*Actions on Output...*), případně počet a název součástí opouštějících stroj. U strojů se v dalších záložkách dá nastavit mnoho podrobnějších parametrů, například jeho poruchovost (*Breakdowns*) nebo směna (*Shift*). Obrázek 10 zobrazuje základní nastavení jednoduchého stroje.

Obrázek 10: Základní nastavení stroje

Posledním prvkem je **pracovník** (*Labor*). Jak již název napovídá, jde o prvek obsluhující stroje. Je-li pracovník přiřazen stroji, tak bez něj stroj nebude fungovat. Lze nastavit jeho jméno (*Name*), pracovní směnu (*Shift*), počet identicky nastavených pracovníků (*Quantity*) a maximální čas, ve kterém může pracovník ukončit práci na stroji, například pokud mu již skončila směna (*Allowance*). Obrázek 11 ukazuje základní nastavení pracovníka.

Shift	Quantity	Allowance
Always available	1	0.0

Obrázek 11: Základní nastavení pracovníka

Kromě výše zmíněných základních prvků (*Basic*) jsou důležité i ostatní záložky okna *Designer Elements*. Například v záložce *data (Data)* jsou prvky pro tvorbu vlastního empirického diskrétního (*IDist*) nebo spojitého (*RDist*) rozdělení pravděpodobnosti. Nebo v záložce *proměnných (Variables)* jsou k dispozici prvky, díky nimž lze vložit a nastavit celočíselnou (*Vinteger*) nebo reálnou (*Vreal*) proměnnou nebo definovat vlastní funkci (*Function*).

V záložce *směn (Shifts)* je k dispozici několik předdefinovaných směn. Nebo si uživatel díky možnosti vložení prvku *směna (Shift)* může vytvořit jakoukoliv vlastní směnu pro potřeby konkrétního modelu. Směny jsou definovány ve 24 hodinovém intervalu, kde jednotlivé hodiny dne jsou rozděleny do časových úseků, kdy pracovník pracuje (*Work*), odpočívá (*Rest*) nebo pracuje přesčas (*Overtime*). Přesčas je odečítán z času odpočinku. Tyto hodnoty se nastavují pomocí jednotlivých period. Pro správnou funkčnost směny musí být součet práce a odpočinku roven výše zmíněným 24 hodinám.

#### 4.2.3 Základní pravidla a funkce

Aby byla zajištěna správná funkčnost simulačního modelu, musí být nastaveno, jak budou postupovat součásti modelem. K tomu slouží právě pravidla, která se nastavují u jednotlivých prvků modelu a to buď na vstupu, nebo na výstupu (případně pomocí koncového pravidla u zásobníků). Pravidla by měla být nastavena pouze jedním směrem, ne proti sobě.

U všech prvků je přednastaveno pravidlo **WAIT**, které představuje pasivní čekání prvku. Podobným pravidlem je pravidlo **BUFFER()**. Toto pravidlo také představuje pouze čekání, ale zároveň tvoří fiktivní zásobník, jehož kapacitu je určena číslem, které je zapsáno do závorky. Příkladem aktivního pravidla je vstupní pravidlo **PULL**. Slouží k odebrání součásti prvku z jiného prvku. Naopak výstupní pravidlo **PUSH** udává, do kterého prvku součást pokračuje. Další možností je nastavení rozdělení součástí na vstupu či výstupu v určitém poměru, což zajišťuje pravidlo **PERCENT**. Toto pravidlo určuje, do kterého prvku pokračuje (případně odkud je vyvolávána) jak velká část (v procentech) součástí. Samozřejmě zde nejsou vyjmenovány všechny pravidla, kterými WITNESS disponuje, ale pouze základní pravidla, která by mohla být použita v následujících modelech.

Když má být splněno více podmínek, spojují se pomocí logické spojky **AND**. Naopak při požadavku splnění alespoň jedné podmínky je používána logická spojka **OR**. Při nutnosti kombinace více podmínek do jednoho celku je používána podmínka **IF**.

Program WITNESS umožňuje díky vestavěným funkcím zjištění různých hodnot, které plynou ze simulace. Uvedeno je pouze několik základních funkcí. Například pomocí funkce **NPARTS()** se vrací počet všech součástí, které se nacházejí v daný časový okamžik v daném prvku, který je zapsán v závorkách za funkcí. Složitější je funkce **NPARTS2()**, která má tři parametry. Opět se zadává název prvku, který je identifikován a název součástí, jejichž počet má být zapsán. Poslední parametr je důležitý pouze pro stroje a určuje, zda se provádí zápis pro stroj včetně vstupního a výstupního zásobníku (0), jen pro stroj (1), pro vstupní zásobník (2) nebo pro výstupní zásobník stroje (3). Průměrný počet součástí v prvku lze získat pomocí funkce **APARTS()**. Parametrem zde je název prvku, pro který je hodnota zjišťována. Průměrný čas, který součásti strávily v jistém prvku lze zapsat pomocí funkce **ATIME()**. Průměrný čas strávený v modelu lze zapsat pomocí funkce **ATIME2()**, zde je parametrem název součástí.

Pro zápis počtu vytvořených součástí daného jména v průběhu simulace se používá funkce **NCREATE()**. Pro vrácení počtu součástí na výstupu se používá funkce **NSHIP()**. Počet odmítnutých součástí zapisuje funkce **NREJECT()**.





#### 4.2.4 Generování pseudonáhodných hodnot

V případě, že nejsou známy konkrétní hodnoty pro simulaci, lze v programu WITNESS generovat hodnoty pomocí rozdělení pravděpodobnosti. Každé z předdefinovaných rozdělení pravděpodobnosti je představováno povinnými a nepovinnými parametry. Nepovinné parametry jsou zadávány pouze, pokud by měly být použity konkrétní proudy náhodných čísel. V případě jejich nenastavení, WITNESS generuje proudy pseudonáhodných čísel samostatně.

V případě generování hodnot z Poissonova rozdělení s parametrem  $\lambda > 0$ , je použito funkce **POISSON()**. Zde je povinným parametrem střední hodnota  $EX = \lambda$ . Exponenciální rozdělení s parametrem  $\lambda > 0$  představuje funkce **NEGEXP()**. Zde je opět pouze jeden parametr, a tím je střední hodnota  $EX = 1/\lambda$ . Dalším často používaným rozdělením je normální rozdělení, které určuje funkce **NORMAL()**. Toto rozdělení má dva parametry a to střední hodnotu  $\mu$  a směrodatnou odchylku  $\sigma$ . Jelikož normální rozdělení může generovat i záporné hodnoty, což není vhodné například při generování časových hodnot, používá se „ořezané“ normální rozdělení **TNORMAL()**. Tato funkce má čtyři parametry – první dva jsou stejné jako u normálního rozdělení a další dva určují minimální a maximální hodnotu rozdělení.

Další možností je definování vlastního empirického rozdělení. Vlastní rozdělení se dá vložit z okna *Designer Elements – Data*. Lze rozlišit empirické diskrétní rozdělení (*IDist*) nebo empirické spojité rozdělení (*RDist*). Rozdělení je pak definováno pomocí známé hodnoty proměnné a její relativní četnosti.

#### 4.2.5 Ovládání simulace

Ovládání simulace je umožněno pomocí panelu ve spodní části okna programu (Obrázek 12). První tlačítko  umožňuje návrat do simulačního času 0. Pokaždé když je simulace znovu spouštěna, měla by být přesunuta do simulačního času 0. Pozastavení simulace umožňuje tlačítko . Ke spuštění simulace v grafickém režimu slouží tlačítko  a ke spuštění zrychlené simulace, tedy bez grafického režimu, tlačítko . Do okna za symbolem budíku lze zapsat čas, ve kterém má být simulace zastavena, to funguje pouze v případě, když je ikona budíku aktivována. Posuvníkem lze upravovat rychlost běhu simulace v grafickém režimu. Čím více je posuvník vpravo, tím je grafický režim simulace rychlejší. V posledním okně se zobrazuje čas, ve kterém se simulační model právě nachází.



Obrázek 12: Ovládání simulace

Při běhu simulace se mění barvy čtvercových symbolů u jednotlivých strojů. Tyto barvy reprezentují, v jakém stavu se stroj nachází. Pokud stroj není v provozu (má nastavenou směnu a je vypnutý) má barvu bílou, v případě, že je v provozu a má volno barvu žlutou, pokud zpracovává nějakou součást barvu zelenou. V případě, že stroj čeká na pracovníka, který ho má obsluhovat a je zaneprázdněný u jiného stroje, barvu modrou. Dalším případem je, pokud je stroj blokován součástí, která z nějakého důvodu nemůže pokračovat dál (například pokračuje-li do dalšího stroje, kde ještě nebyla ukončena obsluha) barvu fialovou.

#### 4.2.6 Zápis a čtení ze souborů MS Excel

Program WITNESS umí pracovat se soubory pro MS Excel (*xsl* i *xlsx*), čehož se dá využít jak pro zápis, tak i pro čtení dat. Pro načítání dat se používá funkce ***XLReadArray()***, která má čtyři parametry. Patří zde jméno souboru MS Excel, ze kterého mají být hodnoty načítány, včetně přípony, dále list souboru a odkaz na buňku. Předposledním parametrem je název proměnné, který je definován v programu WITNESS, do kterého má být hodnota načítána. Nutné je poznamenat, že veškerý text, určující parametry funkce musí být vždy zapsán v uvozovkách. [6]

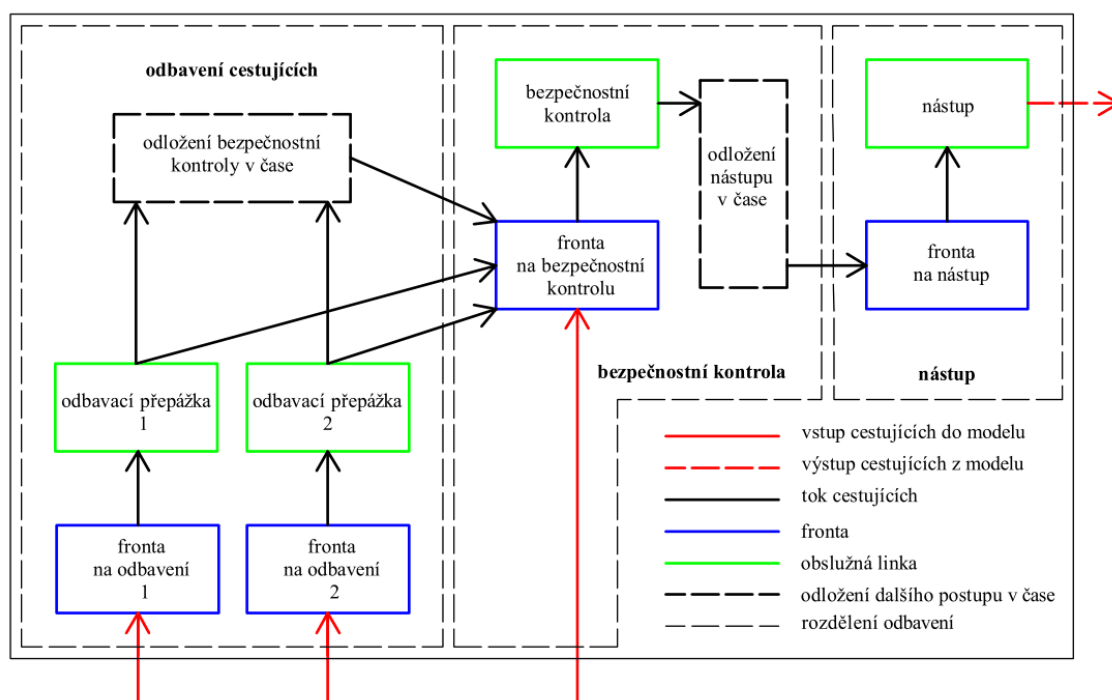
Funkce pro zápis má tvar ***XLWriteArray()***. Funkce má čtyři parametry, které jsou shodné s parametry pro načítání. Když je zadán pouze odkaz na konkrétní buňku, a je zapisováno více hodnot, budou se přepisovat. Pro vyřešení tohoto problému lze v programu WITNESS vytvořit proměnnou, například *radek*. Poté bude ve funkci připočtena tato proměnná k tomu parametru, ve kterém je uveden odkaz na buňku. Dále musí být zajištěno, aby vždy po zápisu byla k hodnotě proměnné *radek* připočtena hodnota 1. Čehož lze docílit zapsáním této podmínky pod funkci pro čtení, případně zápis ze souboru MS Excel.

Obě funkce jsou nejčastěji zapisovány do akcí na vstupu (*Actions on Input...*), případně výstupu (*Actions in Output...*) u prvků jako jsou zásobníky nebo stroje, případně do akcí při vytvoření (*Actions on Create...*) součásti nebo výstupu součásti z modelu (*Actions on Leave...*).

## 5 Návrh modelu

### 5.1 Let do Schengenského prostoru

Obrázek 13 znázorňuje schéma procesů a toků cestujících simulačním modelem letu do Schengenského prostoru. Proces odbavení je zde dělen do tří fází – odbavení cestujících, bezpečnostní kontrola a nástup na palubu letadla.



**Obrázek 13:** Schéma procesů a toků v simulačním modelu letu do Schengenského prostoru

Příchozí cestující jsou reprezentováni prvkem *součást*. Jde o vstupní bránu, generující cestující. Součást má i druhý význam – a to jednotlivé vygenerované cestující.

Jelikož do systému vstupovali cestující v různých fázích odbavení, jsou do modelu vloženy tři *součásti*. První z nich reprezentuje skupinu cestujících, která pokračuje k odbavovacím přepážkám, druhá skupina představuje ty cestující, kteří se odbavili on-line před příjezdem na letiště a nemají s sebou zapsaná zavazadla, která je nutno odbavit, a přichází přímo k bezpečnostní kontrole.

Jelikož odbavovací přepážky i bezpečnostní kontrola jsou otevírány vždy 2 hodiny před plánovaným odletem, je tento čas nastaven ve směnách pro otevření jednotlivých prvků nebo je považován za začátek simulace. Od této doby otevření jsou programem generováni cestující, kteří do modelu vstupují a to buď pomocí přesně zadaných časových rozestupů, nebo náhodně. Cestující, kteří se účastní odbavení jako první, vstupují do front před odbavovací linky. Tyto fronty jsou reprezentovány prvkem *zásobník*. Odbavovací

přepážky jsou otevřeny dvě a představovány jsou prvkem *stroj*. Jedna z nich je určena pro business cestující. Každá z přepážek je obsluhována jedním *pracovníkem*.

Po ukončení obsluhy na odbavovacích přepážkách se cestující dělí do dvou skupin. První z nich přechází ihned ke frontě do bezpečnostní kontroly, druhá odkládá bezpečnostní kontrolu v čase. Obě tyto varianty jsou v modelu řešeny přes *zásobníky*, u kterých je nastavena doba vztažená k činnosti cestujících.

Následuje bezpečnostní kontrola. Fronta je reprezentována *zásobníkem*, samotná bezpečnostní kontrola je řešena pomocí *strojů*. Přesný postup použitý při řešení linky bezpečnostní kontroly je blíže specifikován v následující podkapitole 5.1.1.

Po bezpečnostní kontrole cestující čekají na otevření nástupu do letadla, který probíhá 30 minut před pravidelným odletem., toto je modelováno pomocí *zásobníku*, u kterého je nastavena směna, která určuje, do kdy se musí cestující zdržet v této fázi odbavení. Poté, co je otevřen nástup, se cestující řadí do fronty reprezentované *zásobníkem* před přepážku nástupu, která je reprezentována *strojem*. K přepážce je jako pracovník přiřazen jeden z těch, kteří na začátku obsluhovali odbavovací přepážky. Následně jsou cestující odesláni z modelu pomocí pravidla **PUSH to SHIP**.

### 5.1.1 Řešení linky bezpečnostní kontroly

Z důvodu toho, že v bezpečnostní kontrole se ne vždy vyskytoval pouze jeden cestující, ale někdy dokonce až 3, bylo při tvorbě modelu vyzkoušeno několik variant transformace bezpečnostní kontroly do simulačního programu. Na závěr byla vybrána ta varianta s nejmenšími odchylkami od naměřených hodnot.

Variantou 1 bylo pouze vložení jednoduchého stroje a zadání naměřené doby obsluhy bezpečnostní kontroly. Druhou variantou bylo vložení dvou strojů. První z nich představuje zahájení kontroly a průchod bezpečnostním rámem a druhý stroj pak rentgenovou kontrolu. U této varianty byl čas obsluhy pro zjednodušení rozdělen tak, že prvnímu stroji byly přiděleny 2/3 celkového času, a druhému pak zbývající 1/3. Ve třetí variantě byl mezi dva stroje, jejichž nastavení zůstalo stejné jako v předchozí variantě, vložen zásobník s jedním čekacím místem. Tento zásobník měl představovat bezpečnostní rám. Poslední variantou je vložení tří strojů. Časy jejich obsluhy jsou zjednodušeně nastaveny vždy na 1/3 z naměřené doby obsluhy.

Tyto varianty byly porovnávány na prvním modelu, tedy na letu A. Proto jsou výsledky simulace porovnávány s odpovídajícími hodnotami tohoto letu. Vybraná varianta byla následně použita i pro model letu B bez dalšího ověřování. Porovnáván byl čas vstupu



do obsluhy bezpečnostní kontroly, čas výstupu z bezpečnostní kontroly a doba pobytu v této kontrole. Tabulka 1 názorně ukazuje odchylky. Odchylky byly počítány podle vzorce:

$$\text{hodnota naměřená na letišti} - \text{hodnota ze simulace}.$$

Záporné odchylky u časů vstupů nebo výstupů představují pozdější příchod/odchod v simulaci než v realitě. U doby pobytu v obsluze představuje záporná odchylka delší pobyt v obsluze. Lze vidět, že v první variantě sice odpovídají časy strávené v obsluze, ale narůstají hodnoty zpoždění na vstupu a tedy i výstupu z bezpečnostní kontroly a to až o 28 minut a 46 sekund. Tato hodnota platí pro posledního cestujícího, který stihl let. Ovšem v jednom případě cestující nestihl kontrolu opustit před odletem letadla. Poslední cestující nestihl před odletem ani vstoupit do bezpečnostní kontroly.

Ve druhé variantě se doba v obsluze prodlouží maximálně o 27 sekund, odchylky na vstupu i na výstupu se pohybují až k 5 minutám a 53 sekundám. Ve variantě se zásobníkem se doba v obsluze prodlouží až o 7 minut a 37 sekund, vstup do obsluhy se prodlužuje až o 7 minut a 11 sekund. Výstupy jsou opožděny až o 7 minut a 37 sekund. V poslední variantě je doba v obsluze prodloužena maximálně o 1 minutu a 38 sekund. Cestující do obsluhy vstupují buď ve správný čas, nebo později a to maximálně o 38 sekund. Na výstupu jsou pak cestující opožděni maximálně o 1 minutu a 38 sekund.

Z tohoto porovnání vyplývá, že je nejvhodnější použít variantu se třemi stroji. Kromě nejmenších odchylek odpovídá naměřeným hodnotám v 74 z 99 případů, což je téměř 75% porovnávaných hodnot. Doby obsluhy se prodlouží u 27,27% ze všech cestujících. 12,12% cestujících se opozdí se vstupem do bezpečnostní kontroly. Hodnota času výstupu z bezpečnostní kontroly se změní u 36,36% cestujících. Bezpečnostní kontrola se prodlužovala z důvodu blokování linek jiným cestujícím. Průměrná doba obsluhy je 2 minuty a 57 sekund. Bezpečnostní kontrola se prodlouží maximálně o 55,4% průměrné doby obsluhy.

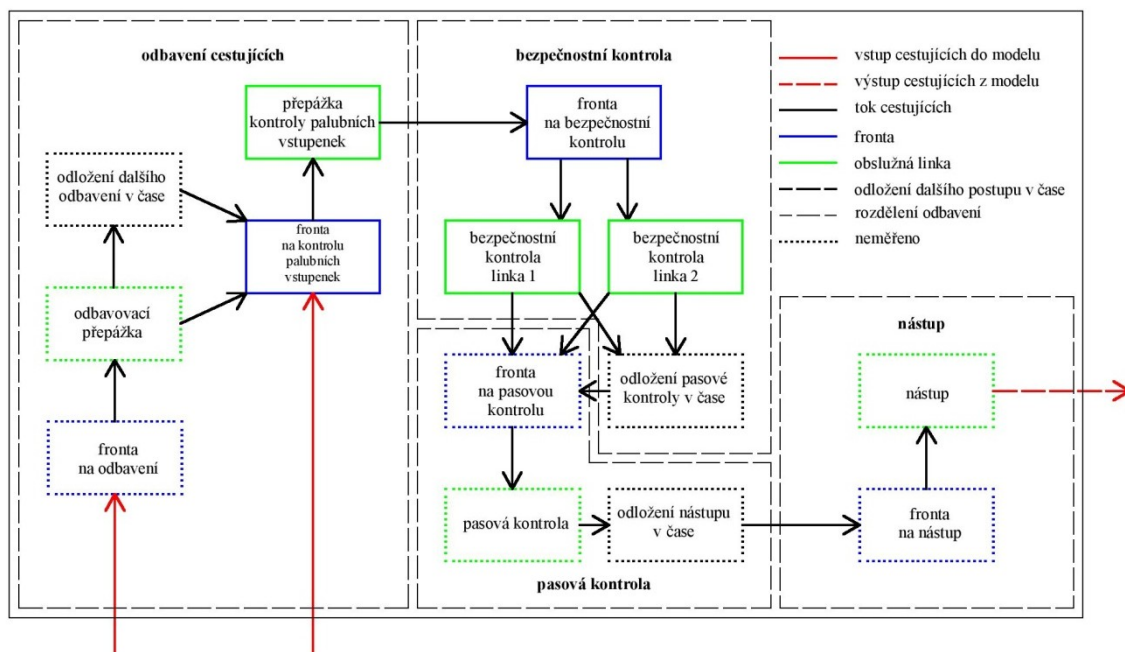
Prvnímu stroji v lince je přiřazen jeden *pracovník*, u druhého a třetího stroje jsou pro zjednodušení přiřazeni vždy dva *pracovníci*, jimž se střídá směna po dvaceti minutách.

1 stroj			2 stroje			2 stroje + 1 fronta s čekacím místem			3 stroje		
vstup	obsluha	výstup	vstup	obsluha	výstup	vstup	obsluha	výstup	vstup	obsluha	výstup
s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s	s
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-59	0	-59	-23	0	-23	-23	-23	-23	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-92	0	-92	-38	0	-38	-38	-38	-38	0	-11	-11
-151	0	-151	-57	0	-57	-57	-57	-57	0	-1	-1
-165	0	-165	-37	0	-37	-37	-37	-37	0	0	0
-243	0	-243	-77	0	-77	-77	-77	-77	-3	0	-3
-441	0	-441	-187	0	-187	-187	-187	-187	-26	-13	-39
-546	0	-546	-211	0	-211	-211	-211	-211	0	0	0
-649	0	-649	-223	0	-223	-223	-223	-223	0	0	0
-635	0	-635	-123	0	-123	-123	-123	-123	0	0	0
-805	0	-805	-205	0	-205	-205	-205	-205	0	0	0
-968	0	-968	-277	-26	-303	-277	-303	-303	0	-98	-98
-934	0	-934	-237	0	-237	-211	-211	-211	0	0	0
-1037	0	-1037	-260	0	-260	-234	-234	-234	0	0	0
-1128	0	-1128	-288	0	-288	-262	-262	-262	0	0	0
-1195	0	-1195	-288	0	-288	-262	-262	-262	0	0	0
-1375	0	-1375	-332	-20	-352	-306	-326	-326	0	-64	-64
-1441	0	-1441	-360	0	-360	-314	-314	-314	0	-24	-24
-1459	0	-1459	-325	-27	-352	-279	-306	-306	0	-16	-16
-1428	0	-1428	-308	0	-308	-235	-246	-246	0	0	0
-1451	0	-1451	-317	0	-317	-244	-244	-244	0	0	0
-1513	0	-1513	-327	0	-327	-254	-254	-254	0	0	0
-1548	0	-1548	-323	0	-323	-250	-250	-250	0	0	0
-1651	0	-1651	-386	0	-386	-313	-313	-313	-24	0	-24
-1844	0	-1844	-490	0	-490	-417	-417	-417	-38	0	-38
-1957	0	-1957	-504	-26	-530	-431	-457	-457	0	-78	-78
-1726	0	-1726	-263	0	-263	-164	-164	-164	0	0	0
-1817	----	----	-308	0	-308	-209	-209	-209	0	0	0
-254	----	----	-353	0	-353	-254	-254	-254	0	-31	-31

Tabulka 1: Porovnání variant řešení bezpečnostní kontroly pro let A

## 5.2 Let mimo Schengenský prostor

Obrázek 14 znázorňuje schéma procesů a toků cestujících simulačním modelem letu mimo Schengenský prostor. Odbavovací proces je dělen do čtyř fází – odbavení cestujících (jak jejich zavazadel, tak odbavení cestujících u přepážky kontroly palubních vstupenek), bezpečnostní kontrola, pasová kontrola a nástup do letadla. Části schématu, které jsou vyznačeny tečkovaně, znázorňují, co nebylo změřeno na letišti.



**Obrázek 14:** Schéma procesů a toků v simulačním modelu letu mimo Schengenský prostor

Při letech mimo Schengenský prostor vstupují cestující do modelu také ve dvou různých situacích. První skupinou jsou cestující, kteří si musí připlatit za zavazadla (mají jich více nebo rozměry případně hmotnost zavazadel překračují limity zohledněné v ceně letenky v podmínkách letecké společnosti) a musí si je odbavit na odbavovací přepážce. Druhá skupina cestujících se této části neúčastní a do odbavovacího procesu vstupuje až u přepážky kontroly palubních vstupenek. Cestující v modelu jsou opět reprezentováni pomocí prvku *součást*. Začátkem simulace je čas otevření veškerých přepážek a bezpečnostní i pasové kontroly, tedy dvě hodiny před plánovaným odletem.

První skupina cestujících přistupuje k odbavení. Odbavovací přepážky jsou otevřeny 2 a představují je *stroje*. Před každou přepážkou je fronta reprezentovaná *zásobníkem*. Obě přepážky mají přiděleného jednoho *pracovníka*. Po odbavení nastávají dvě možnosti – cestující přistupují rovnou do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek nebo odkládají další odbavení v čase. Obě tyto možnosti jsou znázorněny pomocí *zásobníku*, kde je nastavena časová hodnota buď odložení další kontroly, nebo přesunu od odbavovacích linek do fronty před přepážkou kontroly palubních vstupenek.

Druhá skupina cestujících vstupuje do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek. Frontu představuje *zásobník*, přepážku *stroj*, jemuž je přidělen *pracovník*. Poté cestující pokračují přímo do fronty na bezpečnostní kontrolu. Fronta je opět reprezentována pomocí *zásobníku*. Přesto, že je zde pouze jedna fronta, linky pro bezpečnostní kontrolu byly k dispozici dvě. Na konci fronty cestující přechází k té lince, u které je volno. Každá linka bezpečnostní kontroly je řešena stejně jako

v případě letu do Schengenského prostoru, tedy pomocí tří *strojů*, kde prvnímu je přidělen jeden *pracovník* věnující se zákazníkům, a k dalším dvěma strojům – tedy bezpečnostnímu rámu a rentgenu, jsou pro zjednodušení přiřazeni vždy 2 *pracovníci*, kteří se střídají po dvaceti minutách.

Následuje přesun cestujících do fronty k pasové kontrole, která je opět reprezentována *zásobníkem*. Samotnou pasovou kontrolu představuje *stroj*, jemuž je přidělen *pracovník*. Poté cestující čekají na otevření nástupu, což se děje přibližně 30 minut před plánovaným odletem, toto čekání je znázorněno pomocí *zásobníku*.

V čase otevření nástupu se cestující přesouvají do fronty na nástup, kterou představuje *zásobník*. Samotný nástup je opět řešen *strojem* s přiděleným *pracovníkem*, který dříve obsluhoval jednu z odbavovacích přepážek. Rozdíl u letů, kde je zpoplatněn výběr konkrétního sedadla v letadle, nastává po ukončení obsluhy samotného nástupu. Cestující jsou rozděleni do dvou skupin. První skupinou jsou cestující, kteří mají zakoupeno konkrétní sedadlo v letadle (priority), druhou pak ostatní cestující (other). Toto rozdělení je znázorněno opět pomocí dvou *zásobníků*. Priority cestující nastupují do letadla první, a proto také první opouští model, až po nich pak ostatní cestující.

## 6 Výpočetní experimenty s navrženým modelem

Níže popsané modely mají simulovat dění na letišti v den měření. Byl vytvořen simulační model jak pro vnitrostátní let (let A), tak i model pro let mimo Schengenský prostor (let B). Jelikož se tyto simulační modely vzájemně časově neovlivňují, je možné nastavit je jako izolované. Pro další možné použití byl vytvořen také obecný model pro lety mimo Schengenský prostor vycházející z výše uvedených měření.

### 6.1 Tvorba modelu vnitrostátního letu

#### 6.1.1 Popis situace

Obrázek 13 (strana 39) znázorňuje schéma pohybu cestujících vnitrostátního letu. Pro větší přehlednost je schéma rozděleno do tří bloků a to odbavení cestujících, bezpečnostní kontrola a nástup. Většina cestujících zahájila své odbavení u odbavovacích přepážek. Tyto přepážky byly otevřeny dvě a cestující u nich byli odbavováni jednotlivě. Odsud postupovali buď přímo do fronty na bezpečnostní kontrolu, nebo tuto kontrolu odložili v čase. Odbavovací přepážky byly otevřeny od 13:20 do 14:40. Celou dobu byla k dispozici alespoň jedna z přepážek. Obě přepážky byly otevřeny pouze v časech 13:40 – 14:10 a 14:25 – 14:40. Každá z přepážek měla vlastního pracovníka.

Bezpečnostní kontrola byla otevřena v čase 13:20 – 15:20. U bezpečnostní kontroly byla otevřená jedna linka. Část cestujících k bezpečnostní kontrole přicházela od odbavovacích přepážek a část (ti, kteří využili odbavení on-line) přicházela k bezpečnostní kontrole přímo.

Z výsledků měření je zřejmé, že v rámci bezpečnostní kontroly nastávaly situace, kdy se počet současně odbavovaných cestujících lišil.

U linky se po 20 minutách střídali 2 zaměstnanci, aby si udrželi pozornost, jeden další zaměstnanec se pomáhal cestujícím při příchodu k bezpečnostní kontrole a byl zde celou dobu provozu.

Po průběhu bezpečnostní kontroly cestující vyčkávali na otevření přepážky pro nástup. Zde byla k dispozici jedna přepážka a cestující byli odbavováni jednotlivě. Cestující z modelu vystupují po absolvování kontroly na nástupu. Nástup byl otevřen v čase 14:50 – 15:20. Obsluhován byl jedním zaměstnancem, který se zde přemístil po ukončení obsluhy na odbavovacích přepážkách.

Veškeré časy v tomto modelu jsou uvedeny v sekundách. Začátek simulace není zvolen na čas 0, ale na reálný čas začátku odbavení, tedy 13:20, což je 48 000 sekund.

Simulace končí v okamžiku ukončení možnosti nástupu do letadla, tedy v 15:20 reálného času, tedy v čase 55 200 sekund. Tyto hodnoty jsou zde uvedeny pro případné rychlejší spuštění simulačního modelu, který je přiložen v elektronické příloze č. 4 včetně souboru MS Excel, který je s modelem propojen pro zápis výsledků simulačního experimentu.

### 6.1.2 Transformace do programu WITNESS

Podle uvedeného schématu (Obrázek 13) a byly transformovány jednotlivé části odbavení do prostředí programu WITNESS. Cestující vstupující do modelu ať již k odbavení nebo přímo k bezpečnostní kontrole představují *součásti*, jednotlivé fronty *zásobníky* a přepážky *stroje*. Jednotlivým *strojům* byli přiděleni *pracovníci*. Pracovníkům i strojům byly přiřazeny *směny*.

Tabulka 2 zobrazuje základní prvky v simulačním modelu letu A a jejich popis.

název prvku	typ prvku	co představuje
cestujici_do_check_in_1	součást	vstupní tok cestujících
cestujici_do_check_in_2	součást	
check_in_fronta_1	zásobník	fronta na odbavení
check_in_fronta_2	zásobník	
check_in_linka_1	stroj	odbavovací přepážka
check_in_linka_2	stroj	
free_1	zásobník	odložení bezpečnostní kontroly v čase
presun_security	zásobník	zdržení cestujících při přesunu mezi odbavovací přepážkou a frontou k bezpečnostní kontrole
cestujici_bez_check_in	součást	vstupní tok cestujících odbavených on-line
security_fronta	zásobník	fronta na bezpečnostní kontrolu
security_linka_1	stroj	bezpečnostní kontrola 1. část
security_linka_2	stroj	bezpečnostní kontrola 2. část
security_linka_3	stroj	bezpečnostní kontrola 3. část
free_2	zásobník	čekání na otevření nástupu
boarding_fronta_1	zásobník	fronta na nástup
boarding_linka_1	stroj	nástup
obsluha_check_in_1	pracovník	obsluha odbavení a nástupu
obsluha_check_in_2	pracovník	obsluha odbavení

obsluha_security_0	pracovník	obsluha bezpečnostní kontroly
obsluha_security_1	pracovník	
obsluha_security_2	pracovník	
obsluha_security_3	pracovník	
obsluha_security_4	pracovník	

**Tabulka 2:** Základní prvky modelu letu A

V modelu bylo vytvořeno několik celočíselných proměnných reprezentujících časy vypočtené z hodnot naměřených na letišti. Patří zde délka obsluhy jednotlivých cestujících u jednotlivých linek, doba mezi příchody jednotlivých cestujících do modelu nebo doba na přesun mezi jednotlivými prvky. Dále byly definovány proměnné *poradi*, které pomáhají určovat, která hodnota z výše uvedených časů, má být použita. V neposlední řadě zde patří proměnné *radek*, které jsou potřebné, pro zápis výsledků simulace do souboru MS Excel.

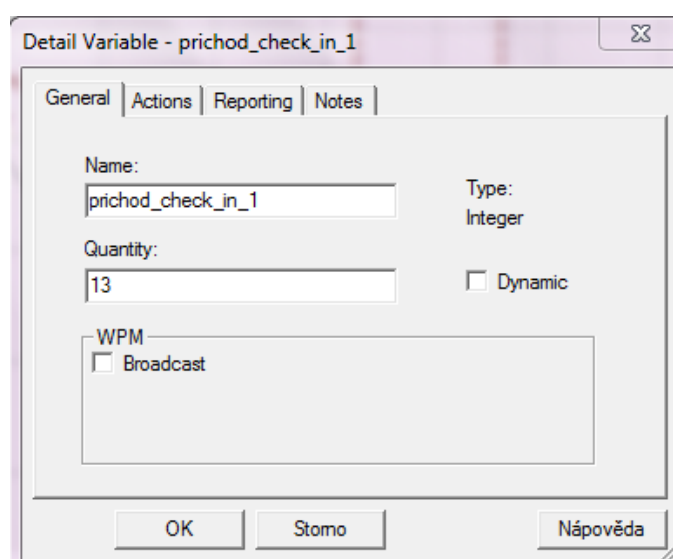
Tabulka 3 popisuje jednotlivé proměnné.

<b>název proměnné</b>	<b>co představuje</b>
prichod_check_in_1	časy mezi příchody cestujících do fronty k 1. odbavovací přepážce
prichod_check_in_2	časy mezi příchody cestujících do fronty k 2. odbavovací přepážce
obsluha_check_in_1	doba obsluhy jednotlivých cestujících na 1. odbavovací přepážce
obsluha_check_in_2	doba obsluhy jednotlivých cestujících na 2. odbavovací přepážce
rozrazeni_check_in_1	vektor určující, zda se cestující po odbavení na 1. přepážce přesouvají ihned k bezpečnostní kontrole (1 = přesun k bezpečnostní kontrole, 0 = odložení tohoto přesunu v čase)
rozrazeni_check_in_2	vektor určující, zda se cestující po odbavení na 2. přepážce přesouvají ihned k bezpečnostní kontrole (1 = přesun k bezpečnostní kontrole, 0 = odložení tohoto přesunu v čase)
doba_free_1	doba, o kterou jednotliví cestující odložili bezpečnostní kontrolu v čase
doba_presun	doba, kterou strávili jednotliví cestující přesunem od odbavovací přepážky k bezpečnostní kontrole
prichod_security	časy mezi příchody cestujících vstupujících do fronty k bezpečnostní kontrole (bez odbavení)
zdrzeni	doba, kterou stráví cestující ve frontě na bezpečnostní kontrolu
obsluha_security_doba_1	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole (1/3 naměřeného času na letišti)
obsluha_security_doba_2	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole (celkový čas obsluhy naměřený na letišti – 2/3 této doby)
obsluha_boarding	doba obsluhy jednotlivých cestujících při nástupu

radek_1 - radek_8	pomocné proměnné pro zápis do souboru MS Excel
poradi_vstup_1	proměnná představující pořadí hodnoty, která má být použita
poradi_vstup_2	
poradi_vstup_3	
poradi_rozrazeni_1	
poradi_rozrazeni_2	
poradi_check_in_1	
poradi_check_in_2	
poradi_presun	
poradi_free_1	
poradi_zdrzeni	
poradi_security_1	
poradi_security_2	
poradi_security_3	
poradi_boarding	

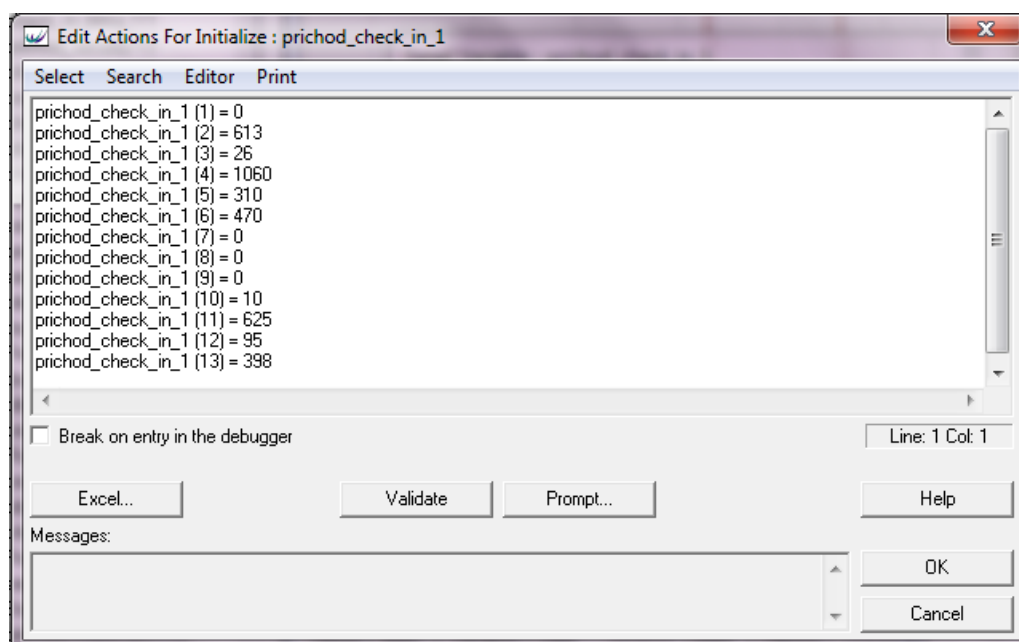
**Tabulka 3:** Proměnné v modelu letu A

Obrázek 15 ukazuje nastavení celočíselné proměnné. Nastavuje se zde název proměnné (*Name*), případně množství (*Quantity*). Jednotlivé hodnoty se nastavují v záložce akce (*Actions*), kde se zapisují do inicializačních akcí (*Initialize Actions*). Obrázek 16 zobrazuje zápis inicializačních funkcí časů mezi příchody cestujících do první fronty na odbavení.



**Obrázek 15:** Nastavení celočíselné proměnné





Obrázek 16: Inicializační funkce proměnné

Dimenze vektorů (*Quantity*) u proměnných s časovými hodnotami a rozřazením (např. *prichod\_check\_in\_1*, *obsluha\_check\_in\_2*, *doba\_free\_1*, *zdrzeni*, *rozrazeni\_check\_in\_1*...) vždy odpovídá počtu cestujících, pro které byla hodnota z vektoru použita. Poté byly do proměnných v záložce akcí (*Actions*) v inicializační funkci (*Initialoze Actions – Initialize...*) zapsány všechny příslušné hodnoty vypočtené ze zápisníku měření. Konkrétní inicializační akce nejsou v práci popisovány.

Proměnné představující pořadí mají určenu kvantitu na hodnotu 1. Hodnota proměnné se bude při správném nastavení přepisovat. V inicializační funkci těchto proměnných musí být nastavena jediná hodnota a to například *poradi = 1*. V akcích na vstupu (*Actions on Input...*) nebo výstupu (*Actions on Output...*) u prvku, kde je pořadí použito, musí být zajištěn nárůst této hodnoty o 1 (např. *poradi = poradi + 1*).

Pokud je pořadí měněno při akci na vstupu (*Actions on Input...*), k inkrementaci dojde před použitím hodnoty. Jelikož index vektoru začíná hodnotou 1, je potřeba proměnnou inicializovat na hodnotu 0. Při inkrementaci v akcích na výstupu (*Actions on Output...*) dojde k přičtení až po použití hodnoty a tudíž je nutné pořadí inicializovat na hodnotu 1.

Pomocné proměnné pro zápis do souboru MS Excel mají také nastaveny kvantitu 1, v inicializační funkci je pak nastavena hodnota řádku v předem připraveném excelovském souboru, kde bude zapsána první hodnota.

Inicializační funkce nemusí být nastavována pro každou proměnnou zvlášť a dokonce nemusí být nastavována ani u proměnné se stejným názvem. Jednou z možností

je zapsat veškeré inicializační funkce přes hlavní menu a výběr *Model – Initialize Actions...*, aby byly všechny inicializační akce na jednom místě. V modelech vztahujících se k této práci byla z důvodu množství proměnných a přehlednosti volena varianta zapisování proměnných do inicializační funkce vždy k proměnné, ke které se vztahuje.

### 6.1.3 Nastavení součástí

Veškeré *součásti* představují vstupní kanály cestujících do simulačního modelu. V tomto modelu jsou všechny *součásti* nastaveny v režimu aktivní (blíže popsáno v kapitole 4.2.2). Každá součást má nastaven maximální počet příchodů (*Maximum Arrivals*), což představuje celkový počet příchozích cestujících v jednotlivých součástech a čas příchodu prvního z cestujících (*First Arrival At*). Časy mezi příchody (*Inter Arrival Time*) cestujících jsou určeny pomocí předem definovaných proměnných pro jednotlivé součásti. Správné použití jednotlivých proměnných je zajištěno použitím další proměnné určující pořadí. Množství příchozích cestujících (*Lot Size*) je u *součástí* nastaveno na hodnotu jedna. Tím je modelován vstupní tok cestujících přicházejících jednotlivě. V praxi však nastávaly i případy, kdy ve stejném časovém okamžiku vstoupilo do vstupního kanálu více cestujících. V těchto případech jsou intervaly mezi příchody nastaveny na nulovou hodnotu. Nastavení akce při vytvoření cestujícího (*Actions on Create...*) zajistí, že po každém vygenerování cestujícího, se zvýší pořadí dané součásti o hodnotu 1.



Pro všechny součásti je použito výstupní pravidlo **PUSH**, které jednotlivé cestující posílá do příslušných zásobníků.

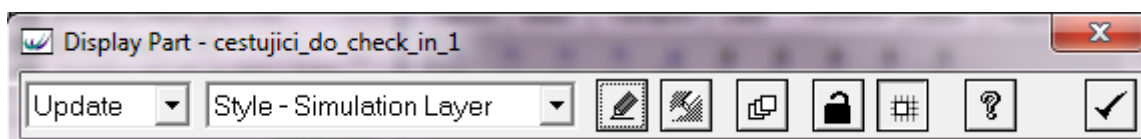
Tabulka 4 obsahuje nastavení všech součástí v modelu.

součást	cestujici_do_check_in_1	cestujici_do_check_in_2	cestujici_bez_check_in
typ	aktivní ( <i>active</i> )	aktivní ( <i>active</i> )	aktivní ( <i>active</i> )
maximum příchodů	13	7	13
první příchod v:	48681.0	49310.0	48352.0
čas mezi vstupy	prichod_check_in_1 (poradi_vstup_1)	prichod_check_in_2 (poradi_vstup_2)	prichod_security (poradi_vstup_3)
množství příchozích	1	1	1
pravidlo na výstupu	PUSH to check_in_fronta_1	PUSH to check_in_fronta_2	PUSH to security_fronta
akce při vytvoření	poradi_vstup_1 = poradi_vstup_1 + 1	poradi_vstup_2 = poradi_vstup_2 + 1	poradi_vstup_3 = poradi_vstup_3 + 1

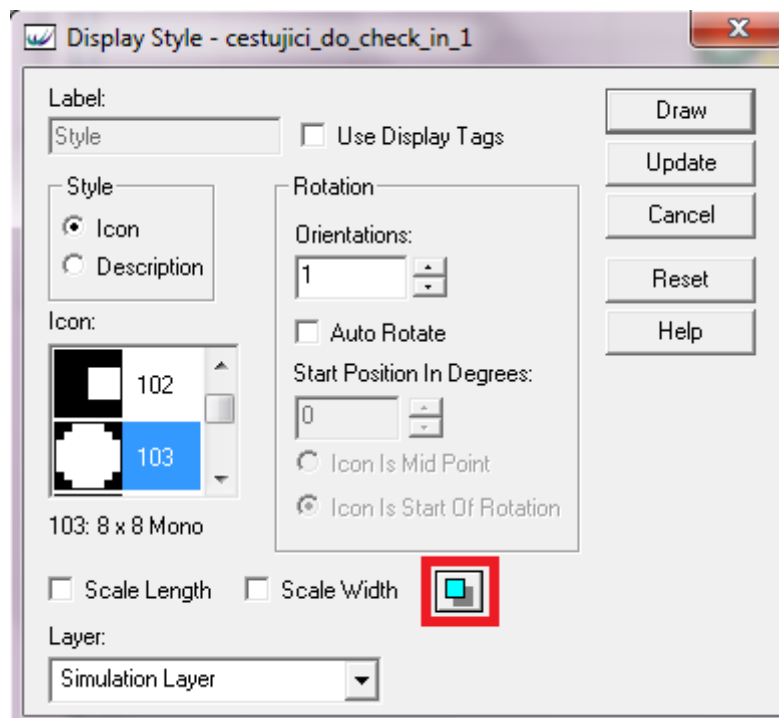
barva součásti	světle modrá	červená	tmavě modrá
----------------	--------------	---------	-------------

**Tabulka 4:** Nastavení součástí pro model letu A

Pro přehlednost při pohybu součástí v modelu je nastavena barva jednotlivých součástí. Změnu barvy lze uskutečnit kliknutím pravým tlačítkem myši na vybranou součást a poté vybráním možnosti *Display....* V nově otevřeném okně (Obrázek 17) se z možností vybere *Update* a *Style – Simulation Layer*. Poté se použije tlačítko se symbolem tužky . Poté se otevře nové okno (Obrázek 18), kde lze barva nastavit v části označené červeným obdélníkem. Okno se uzavře stisknutím tlačítka *Update*, okno *Display Part* se uzavře tlačítkem .



**Obrázek 17:** Úprava součásti



**Obrázek 18:** Styl součásti

#### 6.1.4 Nastavení zásobníků

Zásobníky představují především fronty před jednotlivými přepážkami na letišti. Kromě této funkce jsou využity i pro cestující, kteří odložili další odbavení v čase, případně museli čekat na otevření fronty pro nástup na palubu letadla. Poslední zásobník představuje přesun cestujících mezi odbavovacími přepážkami a frontou před bezpečnostní kontrolou.

Zásobníky představující fronty před odbavovacími linkami 1 a 2 (*check\_in\_fronta\_1* a *check\_in\_fronta\_2*) a nástupem (*boarding\_fronta\_1*) mají nastavenou pouze dostatečnou kapacitu (v tomto případě byla ponechána přednastavená hodnota 1 000), řazení nově příchozího cestujícího je nastaveno na konec fronty (*Input – Option: Rear*) a výstup z prvního místa fronty (*Output – Option: First*).

U front představujících přesun od odbavovacích přepážek do fronty k bezpečnostní kontrole (*presun\_security*) nebo odložení bezpečnostní kontroly v čase (*free\_1*) zůstává toto nastavení stejné, ale změna nastane v části zdržení (*Delays*), kde je zvolena možnost *Both*. Poté byly do polí jak pro minimální (*Minimal Time*), tak pro maximální čas (*Maximal Time*) vloženy názvy příslušné proměnné, která se řídí daným pořadím. Proměnná pořadí zůstává u obou hodnot stejná. Důležité je nastavení pořadí - při každém vstupu musí být jeho hodnota navýšena o hodnotu 1. Toto pravidlo je zapsáno v akcích na vstupu (*Actions on Input...*). Dále musí být nastaveno koncové pravidlo (*Exit Rule...*) **PUSH**, které přesouvá cestující do fronty na bezpečnostní kontrolu.

Fronta na bezpečnostní kontrolu *security\_fronta\_1* je řešena podobně jako předchozí dvě, ale není u ní nastaveno koncové pravidlo. Cestující tedy ve frontě čekají i po uplynutí doby, která jim je nastavena na zdržení, stroj si je přivolá, když má volno. Vzhledem k tomu, že v reálných případech docházelo ke vznikům časových prodlev mezi vyzváním cestujícího, aby z fronty přistoupil k bezpečnostní kontrole a jeho reálným vstupem do bezpečnostní kontroly bylo nutno vstupní pravidlo **PULL** nastavené u stroje kombinovat s definováním hodnoty *Delay* pro zásobník reprezentující frontu.

Tabulka 5 zobrazuje nastavení těchto tří zásobníků.

zásobník	free_1	presun_security	security_fronta
<b>volba</b>	omezení z obou stran ( <i>both</i> )	omezení z obou stran ( <i>both</i> )	omezení z obou stran ( <i>both</i> )
<b>minimální čas</b>	doba_free_1 (poradi_free_1)	doba_presun (poradi_presun)	zdrzeni (poradi_zdrzeni)
<b>maximální čas</b>	doba_Free_1 (poradi_free_1)	doba_presun (poradi_presun)	zdrzeni (poradi_zdrzeni)
<b>koncové pravidlo</b>	PUSH to security_fronta	PUSH to security_fronta	Wait
<b>akce na vstupu</b>	poradi_free_1 = poradi_free_1 + 1	poradi_presun = poradi_presun + 1	poradi_zdrzeni = poradi_zdrzeni + 1

**Tabulka 5:** Nastavení zásobníků pro model letu A

Posledním zásobníkem je zásobník *free\_2*, který má zdržet cestující, kteří prošli bezpečnostní kontrolou tak dlouho, než se zahájí poslední fáze odbavení – proces nástupu

do letadla. Pobyt součástí v tomto zásobníku je možno rozdělit do dvou fází – doba čekání a doba přesunu do fronty před poslední fází odbavení. Pro modelování doby čekání na zahájení poslední fáze není třeba zvlášť modelovat. Je zapotřebí pouze modelovat přesun cestujících. Reálný proces probíhal tak, že cestující začali vytvářet frontu v časový okamžik, kdy byl proces nástupu do letadla zahájen. Tomuto reálnému procesu v simulačním modelu odpovídá přesun všech součástí (cestujících) ze zásobníku *free\_2* do zásobníku *boarding\_fronta\_1*. Protože software Witness neumožňuje v obecné poloze v případě zásobníku použít vstupní pravidlo **PULL**, a tedy zásobník *boarding\_fronta\_1* nemá možnost v čase zahájení své činnosti aktivovat přesun čekajících součástí, je nutno tento proces přesunu aktivovat prostřednictvím zásobníku *free\_2*. Aktivace je provedena následovně. Definuje se směna pro zásobník *free\_2*, ve které se nastaví začátek a konec této směny. Začátek směny bude odpovídat reálnému času zahájení poslední fáze odbavení, konec směny reálnému času ukončení poslední fáze odbavení. Následně se u zásobníku *free\_2* v položce *Delays* zvolí varianta *Both* a nastaví se hodnoty minimálního a maximálního zdržení, přiřadí se směna a nastaví koncové pravidlo **PUSH**. Nastavení nulových hodnot minimálního a maximálního času zajistí, že k přesunu všech součástí mezi zásobníky dojde přesně v čase zahájení směny. Definice této směny bude popsána v podkapitole 6.1.6.

### 6.1.5 Nastavení strojů

Všechny stroje v modelu představují obslužné linky a jsou nastaveny jako jednoduché stroje (*Single*), což znamená, že do stroje vstupuje pouze jeden cestující a pouze jeden také vystupuje. Aby byl zajištěn vyšší počet cestujících v obsluze na bezpečnostní kontrole, byly zde vloženy tři stroje, kterými cestující postupně prochází. To zajišťuje pobyt v obsluze až třem cestujícím. U každého stroje je nastaveno odkud si bere součásti (*From...*) a kam je posílá po dokončení obsluhy (*To...*). Většina strojů (linek) odebrá své *součásti* (cestující) z fronty, která jim předchází a vyvolává je pravidlem **PULL**. Rozdíl nastane u druhého a třetího stroje na bezpečnostní kontrole (*security\_linka\_2* a *security\_linka\_3*). Aby zde nebyla pravidla nastavována proti sobě, je zanecháno u vstupu pouze pravidlo pro čekání **WAIT** a propojení s ostatními stroji je provedeno pomocí výstupních pravidel okolních prvků. Výstupním pravidlem u většiny strojů je pravidlo **PUSH** s určením následného postupu. Rozdílné výstupní pravidlo je stanoveno u odbavovacích linek (*check\_in\_linka\_1* a *check\_in\_linka\_2*). Jelikož část cestujících pokračovala přímo k bezpečnostní kontrole a část odložila průchod bezpečnostní kontrolou v čase, byly vytvořeny proměnné, které určují, kterou variantu

cestující zvolil. A to tak, že se do inicializační funkce proměnné doplní vektor, kde 1 znamená, že se cestující přesouvá přímo do bezpečnostní kontroly a 0 opak. Potom je výstupní pravidlo řešeno pomocí podmínky *IF*. Například tedy pro první odbavovací linku zápis vypadá následovně:

*IF rozrazeni\_check\_in\_1 (poradi\_rozrazeni\_1) = 1*

*PUSH to presun\_security*

*ELSE*

*PUSH to free\_1*

*ENDIF*

Výstupní pravidlo říká, že cestující, který opouští odbavovací přepážku a hodnota proměnné *rozrazeni\_check\_in\_1* pro jeho pořadí je rovna 1, postupuje do zásobníku *presun\_security*, ve kterém je nastavena doba přesunu do fronty na bezpečnostní kontrolu. Jinak postupuje do zásobníku *free\_1*, ze kterého se do fronty dostane až po uplynutí předem zadaného času.

Odlišné výstupní pravidlo je nastaveno u posledního stroje v modelu *boarding\_linka\_1*. Cestující po jeho obsluze vystupují z modelu, což zaručí pravidlo ***PUSH to SHIP***.

Důležité je nastavení délky obsluhy (*Cycle Time*) včetně pořadí proměnné u všech strojů. Pro proměnnou pořadí musí být v akcích na výstupu (*Actions on Output...*) nastaven její nárůst o hodnotu 1. Ke strojům se přiřazují pracovníci (*Labor Rule...*), kteří je mají obsluhovat.

Tabulka 6 ukazuje nastavení strojů.

stroj	check_in_ linka_1	check_in_ linka_2	security_ linka_1	security_ linka_2	security_ linka_3	boarding_ linka_1
odkud	PULL from check_in_ fronta_1	PULL from check_in_ fronta_2	PULL from security_ fronta	Wait	Wait	PULL from boarding_ fronta_1
čas obsluhy	obsluha_ check_in_ linka_1 (poradi_ check_in_1)	obsluha_ check_in_ linka_2 (poradi_ check_in_2)	obsluha_ security_ doba_1 (poradi_ security_1)	obsluha_ security_ doba_2 (poradi_ security_2)	obsluha_ security_ doba_1 (poradi_ security_3)	obsluha_ boarding_ (poradi_ boarding)
pracovník	obsluha_ check_in_1	obsluha_ check_in_2	obsluha_ security_0	obsluha_ security_1 OR obsluha_ security_2	obsluha_ security_3 OR obsluha_ security_4	obsluha_ check_in_1

<b>kam</b>	IF rozrazeni_ check_in_1 (poradi_ rozrazeni_1) = 1 PUSH to presun_ security ELSE PUSH to free_1 ENDIF	IF rozrazeni_ check_in_2 (poradi_ rozrazeni_2) = 1 PUSH to Presun_ security ELSE PUSH to free_1 ENDIF	PUSH to security_ linka_2	PUSH to security_ linka_3	PUSH to free_2	PUSH to SHIP
<b>akce na výstupu</b>	poradi_ check_in_1 = poradi_ check_in_1 + 1 poradi_ rozrazeni_1 = poradi_ rozrazeni_1 + 1	poradi_ check_in_2 = poradi_ check_in_2 + 1 poradi_ rozrazeni_2 = poradi_ rozrazeni_2 + 1	poradi_ security_1 = poradi_ security_1 + 1	poradi_ security_2 = poradi_ security_2 + 1	poradi_ security_3 = poradi_ security_3 + 1	poradi_ boarding = poradi_ boarding + 1

**Tabulka 6:** Nastavení strojů pro model letu A

### 6.1.6 Pracovníci a definování směn

V modelu je definováno 7 pracovníků. *Obsluha\_check\_in\_1* obsluhuje první odbavovací linku a poté nástup, *obsluha\_check\_in\_2* druhou odbavovací linku. Zbývajících 5 pracovníků se pohybuje u bezpečnostní kontroly. Čtyři pracovníci (*obsluha\_security\_1* až *obsluha\_security\_4*) se střídají po dvaceti minutách u rentgenu a bezpečnostního rámu a jeden (*obsluha\_security\_0*) pomáhá cestujícím při zahájení bezpečnostní kontroly. Tento přístup je zvolen pro zjednodušení modelu. Ve skutečnosti docházelo k přechodům pracovníků bezpečnostní kontroly mezi jednotlivými stanovišti, uvedené přechody však z důvodů zaznamenávání časů ukončení jednotlivých fází bezpečnostní kontroly nebylo možno monitorovat.

V modelu je definováno 8 různých *směn*. Směny se nastavují pomocí period. První perioda vždy začíná v čase 00:00:00 a dále se nastavuje odpracovaný čas (*Work*), odpočinek (*Rest*), případně přesčas (*Overtime*). Tabulka 7 představuje směnu *smena\_check\_in\_1* použitou pro pracovníka *obsluha\_check\_in\_1*, který má na starosti odbavení a nástup. Tabulka 8 znázorňuje směnu *smena\_check\_in\_2* pracovníka na druhé odbavovací přepážce *obsluha\_check\_in\_2*. Tabulka 9 představuje směny *smena\_security\_1* a *smena\_security\_2* pracovníků bezpečnostní kontroly, kteří se po dvaceti minutách střídají (*obsluha\_security\_1* až *obsluha\_security\_4*). Zde jsou nastaveny i pětiminutové přesčasy, které mají za následek, že pracovník neodejde, pokud má nedokončenou práci, přestože mu skončila směna.

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]	poznámka
1	00:00:00	0	48 000	0	13:20:00	
2	13:20:00	4 800	0	0	14:40:00	odbavení
	14:40:00	0	600*	0	14:50:00	přesun
3	14:50:00	1 800	0	0	15:20:00	nástup
	15:20:00	0	31 200	0	00:00:00	

**Tabulka 7:** Směna pracovníka obsluhujícího první odbavovací přepážku a nástup pro model letu A

\*čas 600 s je v modelu považován za čas, kdy obsluha nepracuje, přestože je v realitě tento čas využit pro přesun obsluhy od odbavovací přepážky k přepážce nástupu na palubu letadla

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	49 200	0	13:40:00
2	13:40:00	1 800	0	0	14:10:00
	14:10:00	0	900	0	14:25:00
3	14:25:00	1 200	0	0	14:45:00
	14:45:00	0	33 600	0	00:00:00

**Tabulka 8:** Směna pracovníka obsluhujícího druhou odbavovací přepážku pro model letu A

Pro přehlednost je v tabulkách doba práce a odpočinku u jednotlivých period rozdělena do dvou řádků. V programu WITNESS je perioda vždy zapisována do jednoho řádku. V případě, že jsou ve směně definovány přesčasy, jsou zapsány v řádku pro práci i přesto, že se jejich doba nepromítne v odpracovaném čase, protože se odečítá z odpočinku pracovníka.

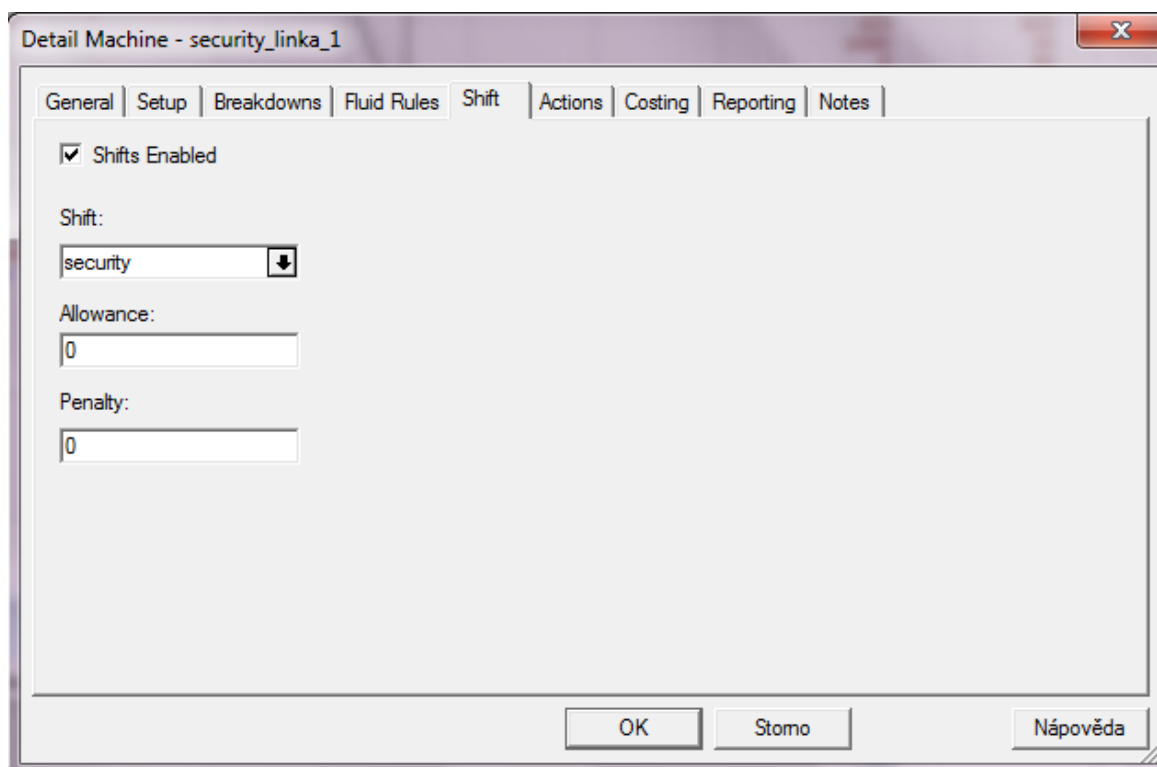
pracovník	perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	1	00:00:00	0	48 000	0	13:20:00
	2	13:20:00	1 200	0	300	13:40:00
		13:40:00	0	1 200	0	14:00:00
	3	14:00:00	1 200	0	300	14:20:00
		14:20:00	0	1 200	0	14:40:00
	4	14:40:00	1 200	0	300	15:00:00
		15:00:00	0	32 400	0	00:00:00



2	1	00:00:00	0	49 200	0	13:40:00
	2	13:40:00	1 200	0	300	14:00:00
		14:00:00	0	1 200	0	14:20:00
	3	14:20:00	1 200	0	300	14:40:00
		14:40:00	0	1 200	0	15:00:00
	4	15:00:00	1 200	0	0	15:20:00
		15:20:00	0	31 200	0	00:00:00

**Tabulka 9:** Směny pracovníků na druhém a třetím stroji bezpečnostní kontroly pro model letu A

Kromě směn použitých u pracovníků byly vytvořeny i *směny*, které byly přiděleny strojům. U strojů se směny přiřazují v nastavení v záložce směny (*Shift*), kde se po zaškrtnutí políčka povolení směn (*Shifts Enabled*) zpřístupní možnost výběru předem připravené směny (Obrázek 19).



**Obrázek 19:** Nastavení směny u stroje

Byla vytvořena směna *check\_in* pro odbavení (Tabulka 10), která byla nastavena pro první odbavovací linku *check\_in\_linka\_1*. U druhé odbavovací linky *check\_in\_linka\_2* je použita směna stejná jako u její obsluhy (*obsluha\_check\_in\_2*). Směna *security* určuje otevření bezpečnostní kontroly (Tabulka 11), ta je použita pro všechny stroje představující bezpečnostní kontrolu i pracovníka, který obsluhuje první stroj (*obsluha\_security\_0*). Dále je vytvořena směna *boarding* pro otevření linky na nástup (Tabulka 12) a směna *smena\_free\_2*, která je nastavena u zásobníku *free\_2*, která umožňuje cestujícím vstup

do fronty na nástup (Tabulka 13). Teoreticky by se tyto dvě směny měly shodovat. V realitě však nastala prodleva mezi otevřením přepážky na nástup a začátkem obsluhy. Z toho důvodu jsou vytvořeny dvě různé směny.

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	48 000	0	13:20:00
2	13:20:00	4 800	0	0	14:40:00
	14:40:00	0	33 600	0	00:00:00

**Tabulka 10:** Směna pro odbavovací linky pro model letu A

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	48 000	0	13:20:00
2	13:20:00	7 200	0	0	15:20:00
	15:20:00	0	31 200	0	14:25:00

**Tabulka 11:** Směna pro bezpečnostní kontrolu pro model letu A

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	53 840	0	14:57:20
2	14:57:20	1 360	0	0	15:20:00
	15:20:00	0	31 200	0	00:00:00

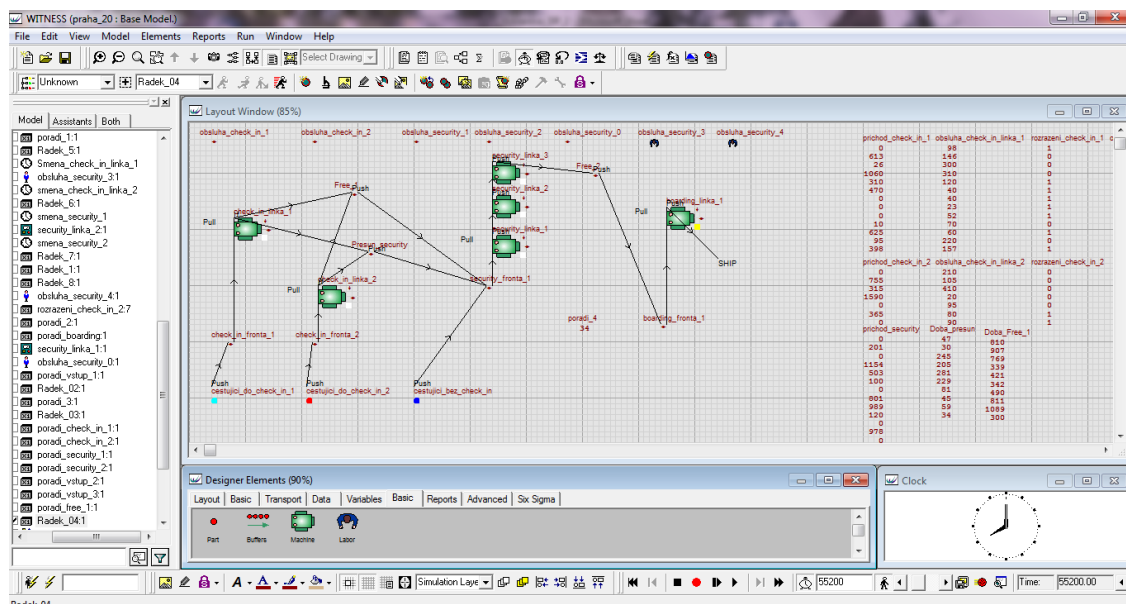
**Tabulka 12:** Směna pro nástup pro model letu A

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	53 790	0	14:56:30
2	14:56:30	1 410	0	0	15:20:00
	15:20:00	0	31 200	0	00:00:00

**Tabulka 13:** Směna pro otevření fronty na nástup pro model letu A

### 6.1.7 Statistiky ze simulace

Na následujícím obrázku (Obrázek 20) je znázorněn simulační model naměřených hodnot letu A v pracovním prostředí software WITNESS.



Obrázek 20: Simulační model letu A

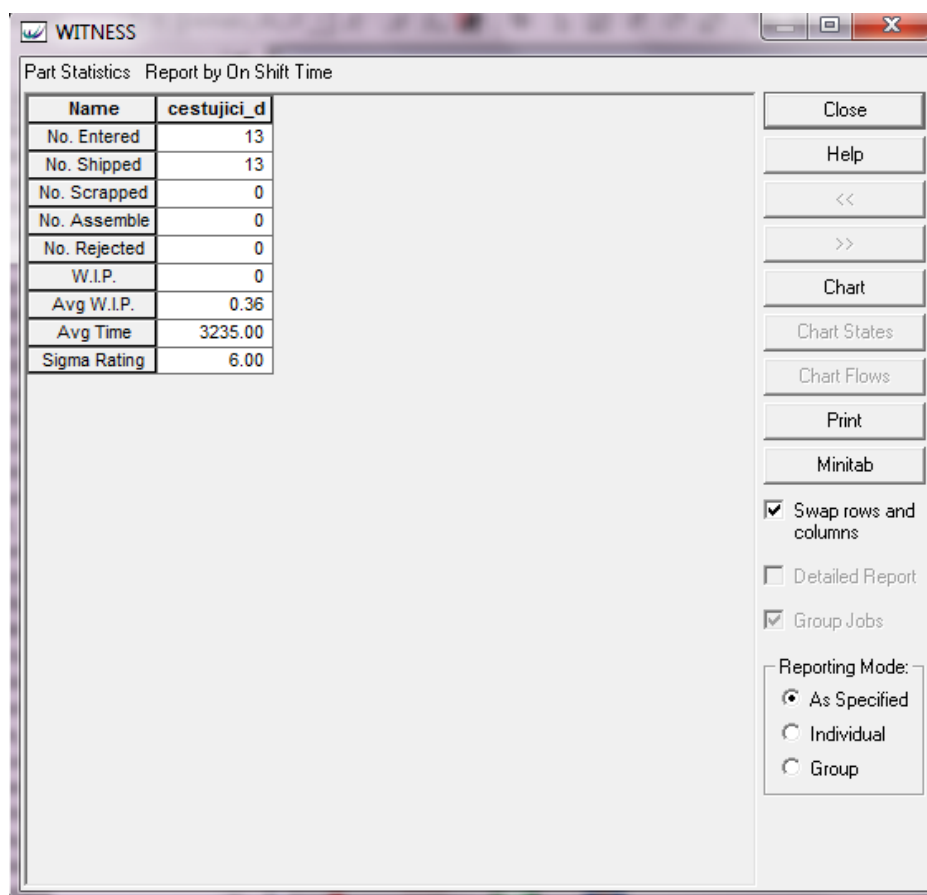
Po spuštění simulace WITNESS začne automaticky zaznamenávat časový průběh všech důležitých dat potřebných pro následné statistické vyhodnocení. Tyto hodnoty uspořádané do tabulky lze vyvolat kliknutím pravým tlačítkem myši na požadovaný prvek a výběrem možnost *Statistics*....

Obrázek 21 ukazuje statistiku součástí. Je zde možné zjistit počet součástí, které vstoupily do modelu (*No. Entered*), vystoupily z modelu (*No. Shipped*) nebo byly vyřazeny (*No. Scrapped*). Dále pak počet součástí, které byly zkompletovány (*No. Assembled*), odmítnuty na vstupu (*No. Rejected*), počet součástí nacházejících se v modelu v daném okamžiku (*W.I.P*). Statistika obsahuje i průměrné hodnoty. Patří zde průměrný počet součástí nacházejících se v modelu (*Avg. W.I.P*) nebo průměrný čas pobytu součástí v modelu (*Avg. Time*).[6]

Tabulka 14 zobrazuje průměrné doby, které cestující v jednotlivých skupinách z hlediska průběhu odbavení v modelu letu A strávili.

	průměrný čas v modelu	
	[s]	[mm:ss]
<i>cestujici_do_check_in_1</i>	3 235,00	53:55
<i>cestujici_do_check_in_2</i>	2 872,86	47:53
<i>cestujici_bez_check_in</i>	3 214,62	53:35

Tabulka 14: Statistiky pro součásti k modelu letu A



Obrázek 21: Statistika součásti

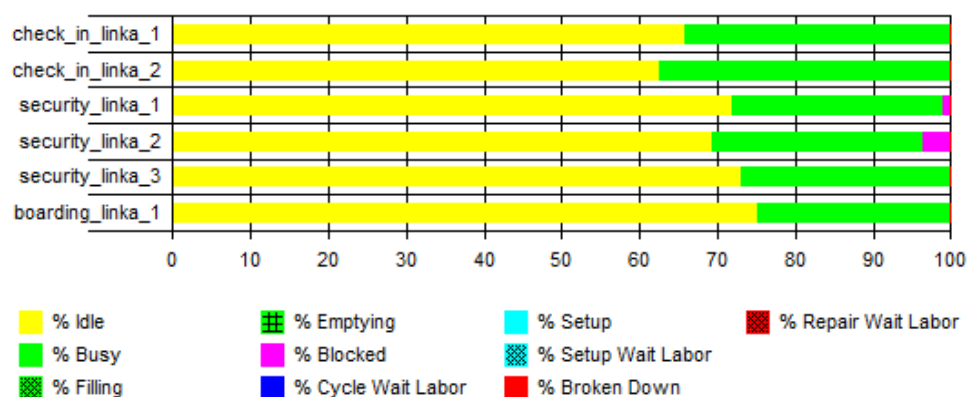
Ve statistikách o zásobnících jsou uloženy informace o tom, kolik součástí do nich vstoupilo (*Total In*) a vystoupilo (*Total Out*) a kolik součástí se aktuálně nachází v zásobníku (*Now In*). Dále také maximální (*Max*) a minimální (*Min*) počet součástí, které se vyskytovaly v zásobníku současně, průměrný počet součástí v zásobníku (*Avg Size*) a průměrnou dobu, kterou součásti v zásobníku strávily (*Avg Time*).<sup>[6]</sup> V případě nastavení zpoždění přibývají pole, která zaznamenávají průměrný počet zpoždění součástí (*Avg Delay Count*) a průměrný čas zpoždění (*Avg Delay Time*).

Tabulka 15 zobrazuje počet cestujících, kteří do jednotlivých front vstoupili a vystoupili, maximální počty cestujících ve frontách a průměrné časy strávené v jednotlivých frontách.

V případě statistik u strojů lze zjistit procentuální podíly časů, kdy stroj nepracoval (*% Idle*), pracoval (*% Busy*), byl blokován (*% Blocked*), čekal na obsluhu (*% Cycle Wait Labor*), byl v údržbě (*% Setup*), čekal na údržbu (*% Setup Wait Labor*), měl poruchu (*% Broken Down*), čekal na opravu (*% Repair Wait Labor*), případně plnění (*% Filling*) a vyprazdňování (*% Emptying*) stroje. Zapsán je také počet operací stroje (*No. Of Operations*).<sup>[6]</sup>

	počet vstupů	počet výstupů	maximálně ve frontě	průměrný čas ve frontě	
				[s]	[mm:ss]
<i>check_in_fronta_1</i>	13	13	4	37,54	0:38
<i>check_in_fronta_2</i>	7	7	2	14,29	0:14
<i>free_1</i>	10	10	4	627,80	10:28
<i>presun_security</i>	10	10	4	125,60	2:06
<i>security_fronta</i>	33	33	3	83,67	1:24
<i>free_2</i>	33	33	33	0,00	0:00
<i>fronta_boarding</i>	33	33	33	215,24	3:35

**Tabulka 15:** Statistiky zásobníků k modelu letu A



**Graf 16:** Statistiky strojů v modelu letu A

Procentuální hodnoty činnosti stroje lze jednoduše zobrazit ve formě grafů pomocí tlačítka *Chart States* ve statistikách. Graf 16 představuje takový graf pro stroje z vytvořeného modelu letu A. Z grafu je zřejmé, že všechny stroje v tomto modelu více než 60% doby, kdy byly v provozu, nepracovaly.

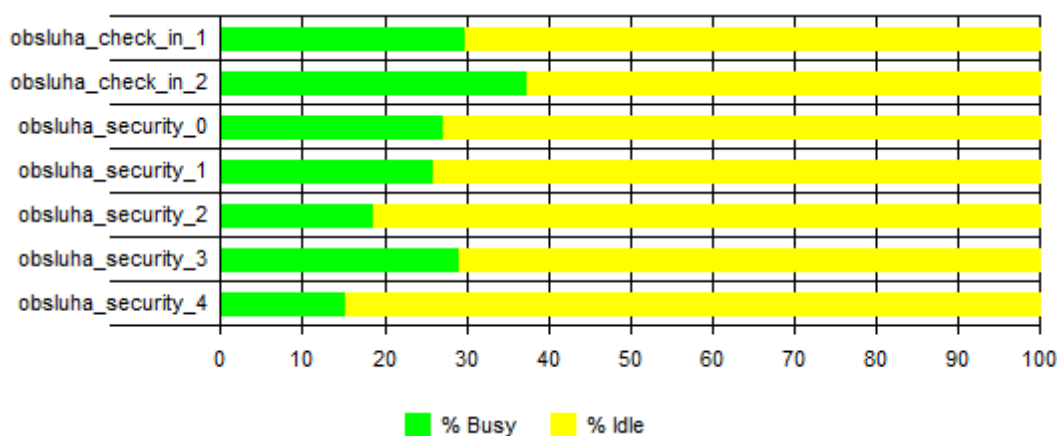
Tabulka 16 zobrazuje procentuální hodnoty práce a nečinnosti, případně blokování jednotlivých strojů a počet jejich operací v modelu letu A.

	nepracoval [%]	pracoval [%]	blokován [%]	počet operací
<i>check_in_linka_1</i>	65,92	34,08	0,00	13
<i>check_in_linka_2</i>	62,59	37,41	0,00	7
<i>security_linka_1</i>	72,94	27,06	0,00	33
<i>security_linka_2</i>	71,82	27,06	1,13	33
<i>security_linka_3</i>	69,39	27,07	3,54	33
<i>boarding_linka_1</i>	81,28	18,72	0,00	33

**Tabulka 16:** Statistiky strojů k modelu pro let A

Posledním prvkem, k němuž se dají zjistit statistiky, je pracovník. U něj lze zjistit, kolik procent z pracovní doby pracoval (% *Busy*) a naopak nepracoval (% *Idle*) a kvantita pracovníka. Dále je zaznamenán počet úkolů, na kterých začal pracovat (*No. Of Jobs Started*), které dokončil (*No. Of Jobs Ended*), a také počet rozpracovaných (*No. Of Jobs Now*) a přerušených (*No. Of Jobs Pre-empted*) úkolů. Mezi přerušené úkoly mohou patřit například ty úkoly, kdy pracovníkovi skončí směna a nemá nastavený přesčas. Samozřejmostí je také průměrný čas, za který je splněn jeden úkol (*Avg Job Time*).[6] Stejně jako u strojů lze i u pracovníků v programu WITNESS vytvořit graf zobrazující jejich činnost. Graf 17 představuje vytížení pracovníků v modelu letu A. Stejně jako u strojů všichni pracovníci více než 60% pracovní doby nepracovali.

Tabulka 17 ukazuje, kolik procent směny jednotliví pracovníci odpracovali a kolik procent čekali na práci. V tabulce je také uveden počet započatých a ukončených obsluh a průměrný čas jedné obsluhy. Hodnota průměrné doby obsluhy u pracovníka *obsluha\_check\_in\_1* se na první pohled velmi liší od průměrné doby pracovníka *obsluha\_check\_in\_2*, je to z toho důvodu, že první pracovník, kromě odbavení obsluhoval i nástup, kde byla doba obsluhy značně kratší. U pracovníků bezpečnostní kontroly však mohlo dojít k určitému zkreslení z důvodu volby většího počtu pracovníků než ve skutečnosti (důvody byly uvedeny v úvodu podkapitoly 6.1.6).



**Graf 17:** Statistiky strojů v modelu letu A

	pracoval [%]	nepracoval [%]	počet započatých obsluh	počet ukončených obsluh	průměrná doba obsluhy [s]
<i>obsluha_check_in_1</i>	29,89	70,11	46	46	42,89
<i>obsluha_check_in_2</i>	37,41	62,59	7	7	144,29
<i>obsluha_security_0</i>	27,06	72,94	33	33	59,03
<i>obsluha_security_1</i>	25,98	74,02	19	19	61,53
<i>obsluha_security_2</i>	18,57	81,43	14	14	55,71
<i>obsluha_security_3</i>	29,00	71,00	21	21	62,14
<i>obsluha_security_4</i>	15,31	84,69	12	12	53,58

**Tabulka 17:** Statistiky pracovníků k modelu pro let A

### 6.1.8 Porovnání výsledků simulace s naměřenými hodnotami

Bylo rozhodnuto, že se výsledky simulace porovnají s naměřenými hodnotami v místech vstupů a výstupů do front před odbavením, fronty před bezpečnostní kontrolou a fronty před nástupem. V práci jsou znázorněny pouze odchylky.

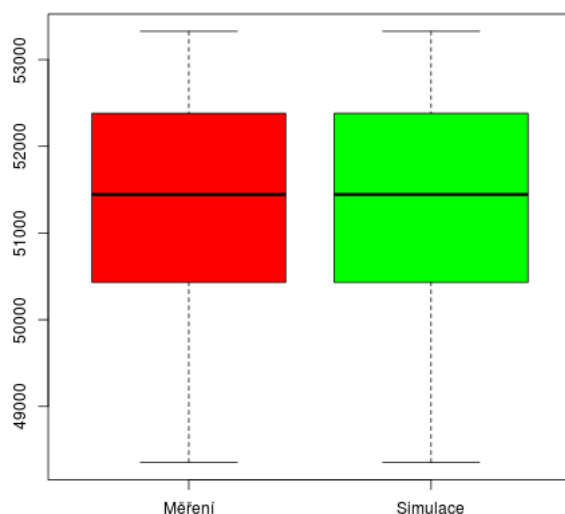
Witness umí hodnoty přenášet přímo do souboru MS Excel, k zápisu slouží příkaz: *XLWriteArray ("fronty.xlsx","List1","A" + radek\_1,TIME)*, kde *fronty.xlsx* představuje název souboru, do kterého budou požadované hodnoty zapsány, *List1* představu list, na který budou zapsány, *A* sloupec pro zápis. Poslední je příkaz *TIME*, který určuje, co bude zapsáno – v tomto případě čas. U hodnoty sloupce je přičtena hodnota celočíselné proměnné, díky které lze docílit toho, že každá hodnota bude zapsána na nový řádek a nebude přepisována. Proto musí být pod tento příkaz přidán zápis, který zajistí postupné přičítání 1. Tedy:  $radek\_1 = radek\_1 + 1$ .

Obdobné příkazy jsou vepsány ve všech akcích na vstupu (*Actions on Input...*) a výstupu (*Actions on Output...*) u front, ze kterých mají být získány časové hodnoty. Pro jednotlivé zápisy byly vytvořeny samostatné proměnné *radek*.

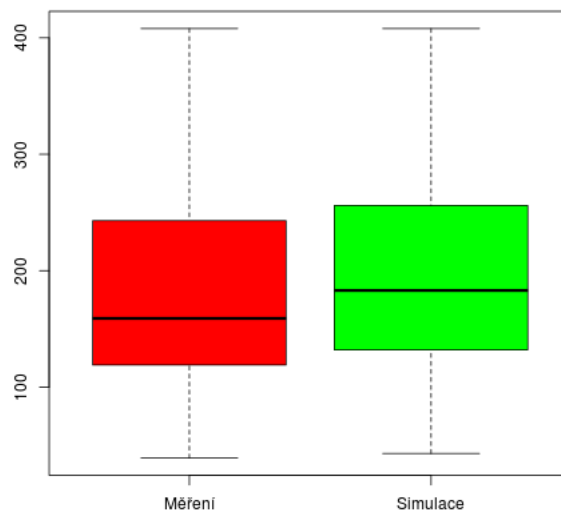
Porovnání výsledků simulace (Tabulka 18 - Tabulka 21) ukazuje, že téměř ve všech případech simulace odpovídá naměřeným hodnotám. Měřeny byly vstupy a výstupy do jednotlivých front v modelu. Problém nastává pouze na výstupu z fronty před bezpečnostní kontrolou. Zde se odchylky daly předpokládat díky výše (kapitola 5.1.1) volbě řešení linky bezpečnostní kontroly. Přestože byla vybrána varianta se třemi stroji v lince bezpečnostní kontroly, což umožnilo současnou kontrolu až tří cestujících, nastávaly velké odchylky. Důvodem těchto odchylek bylo nastavení časů u jednotlivých strojů bezpečnostní kontroly. Jelikož byl změřen jen celkový čas obsluhy, byla tato

rovnoměrně rozdělena mezi tři stroje. Díky tomu může nastat v simulačním modelu situace, kdy první stroj přivolá do obsluhy cestujícího dříve než v realitě, jelikož první část obsluhy v realitě mohla být delší než 1/3 celkové doby obsluhy. Tyto odchylky byly redukovány přidáním proměnné *zdrzeni* a pořadí v nastavení *Delays* zásobníku *security\_fronta*. Proměnná *zdrzeni* nabývá hodnot reálného zdržení cestujících ve frontě před bezpečnostní kontrolou. I přes tuto úpravu byly zaznamenány odchylky. Tyto odchylky nastávají v případech, kdy je první stroj bezpečnostní kontroly blokován. V tomto případě musí cestující ve frontě počkat, než jej stroj přijme. Prostoje ve frontě se prodlouží oproti realitě.

Čtyři hodnoty, tedy 12% na výstupu neodpovídaly naměřené skutečnosti, protože příchody cestujících v simulačním modelu z fronty se v těchto případech opoždily (největší hodnota opoždění v modelu ve srovnání s realitou činila 38 sekund). Průměrně cestující ve frontě k bezpečnostní kontrole strávili 1 minutu a 29 sekund. Podle porovnání krabicových grafů této situace (Graf 18) je zřejmé, že hodnoty téměř odpovídají. Osa y zde představuje časy výstupu z fronty v sekundách. Sestrojen byl i krabicový graf porovnávající dobu obsluhy (Graf 19). Zde osa y představuje dobu obsluhy. Z tohoto grafu je zřejmé, že doba obsluhy v simulačním modelu je mírně delší než v realitě, rozdíly však nejsou markantní.



**Graf 18:** Krabicový graf pro výstup z fronty do bezpečnostní kontroly pro let A



**Graf 19:** Krabicový graf pro dobu odbavení v bezpečnostní kontrole pro let A



cestující	odchylka	
	vstup	výstup
	s	s
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0

**Tabulka 18:** Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na první odbavovací přepážce pro let A

cestující	odchylka	
	vstup	výstup
	s	s
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0

**Tabulka 19:** Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na druhé odbavovací přepážce pro let A

cestující	odchylka	
	vstup	výstup
	s	s
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	-3
11	0	-26
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	-24
29	0	-38
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0

**Tabulka 20:** Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na bezpečnostní kontrolu pro let A

cestující	odchylka	
	vstup	výstup
	s	s
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	0	0
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	0	0

**Tabulka 21:** Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na nástup pro let A

## 6.2 Tvorba modelu letu mimo Schengenský prostor

### 6.2.1 Popis situace

Obrázek 14 (strana 43) představuje schematické znázornění pohybu cestujících letu B. Schéma je rozděleno do čtyř bloků. První z nich představuje odbavení zavazadel cestujících a kontrolu odbavení na přepážce kontroly palubních vstupenek. Na odbavovací přepážce jsou v tomto případě odbavována pouze zavazadla, jejichž rozměry případně hmotnost překračují limity zohledněné v ceně letenky v podmínkách letecké společnosti. Jelikož toto odbavení většina cestujících nevyužila, nebyly zde zaznamenávány časy.

Další etapou odbavení je bezpečnostní kontrola, následuje pasová kontrola a nástup na palubu letadla. Jak bylo již výše zmíněno, z důvodu malého množství zapisovatelů a jejich umístění nemohly být změřeny ani časy na pasové kontrole a nástupu. Nezměřené části odbavení jsou ve schématu označeny tečkovanou čarou.

Cestující po průchodu přepážkou kontroly palubních vstupenek, která je umístěna v těsné blízkosti bezpečnostní kontroly, postupovali přímo do fronty k bezpečnostní kontrole. Zde se tvořila pouze jedna fronta, ze které cestující přistupovali k jedné ze dvou linek bezpečnostní kontroly. Po průchodu bezpečnostní kontrolou postupovali dále k pasové kontrole a poté čekali v oddělené místnosti letiště na otevření nástupu na palubu letadla.

Odbavovací přepážka byla otevřena od 15:45 do 17:05. Přepážka kontroly palubních vstupenek a bezpečnostní a pasová kontrola byly otevřeny v časovém intervalu 15:45 – 17:45. Možnost nástupu na palubu letadla byl otevřen v čase 17:15 – 17:45. Každá z odbavovacích přepážek (vyjma přepážek bezpečnostní kontroly) měla svého pracovníka. Pracovník odbavovací přepážky obsluhoval i odbavení cestujících při nástupu do letadla. V bezpečnostní kontrole byl na vstupu vždy jeden pracovník, který cestující připravoval na zahájení bezpečnostní kontroly a po dvou pracovnících vždy u bezpečnostního rámu i rentgenu. Tito pracovníci se střídali přibližně po dvaceti minutách.

Veškeré časy v tomto modelu jsou uvedeny v sekundách. Začátek simulace není zvolen na čas 0, ale na reálný čas začátku odbavení, tedy 15:45, což je 56 700 sekund. Simulace končí v okamžiku ukončení možnosti nástupu do letadla, tedy 17:45 reálného času, což je v přepočtu 63 900 sekund. Tyto hodnoty jsou zde uvedeny pro případné rychlejší dosažení výsledků simulačního experimentu, který je přiložen v elektronické příloze č. 5 včetně souboru MS Excel, do kterého WITNESS zapisuje výsledky simulačního experimentu.

### 6.2.2 Transformace do programu WITNESS

Podle uvedeného schématu (Obrázek 14) byly transformovány jednotlivé části odbavení do prostředí programu WITNESS. Cestující vstupují do modelu jako *součásti*, jednotlivé fronty jsou reprezentovány *zásobníky* a přepážky a linky bezpečnostní kontroly jsou v modelu zahrnuty jako *stroje*. Jednotlivým *strojům* byli přiděleni *pracovníci* a jim přiřazeny *směny*. Směny byly přiděleny i strojům.

Tabulka 22 zobrazuje základní prvky v simulačním modelu a jejich popis.

název prvku	typ prvku	co představuje
cestujici	součást	vstupní tok cestujících
kontrola_pv_fronta	zásobník	fronta k přepážce kontroly palubních vstupenek
prepazka_kontrola_pv	stroj	přepážka kontroly palubních vstupenek
security_fronta	zásobník	fronta na bezpečnostní kontrolu
security_linka_1_1	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 1. část
security_linka_1_2	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 2. část
security_linka_1_3	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 3. část
security_linka_2_1	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 1. část
security_linka_2_2	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 2. část
security_linka_2_3	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 3. část
free_2	zásobník	odložení pasové kontroly v čase
obsluha_kontrola_pv_1	pracovník	obsluha kontroly palubních vstupenek
obsluha_security_0	pracovník	obsluha bezpečnostní kontroly
obsluha_security_1	pracovník	
obsluha_security_2	pracovník	
obsluha_security_3	pracovník	
obsluha_security_4	pracovník	

**Tabulka 22:** Základní prvky modelu letu B

V modelu bylo vytvořeno několik celočíselných proměnných reprezentujících časy vypočtené z hodnot naměřených na letišti. Patří zde doba obsluhy jednotlivých cestujících u přepážky kontroly palubních vstupenek nebo jednotlivých linek bezpečnostní kontroly, doba mezi příchody jednotlivých cestujících do modelu a délka zdržení cestujících ve frontě na bezpečnostní kontrolu. Dále byly definovány proměnné, které pomáhají určovat konkrétní hodnoty sloužící k výpočtu výsledných hodnot časových charakteristik

simulačního experimentu. V neposlední řadě zde patří proměnné, které jsou potřebné, pro zápis výsledků simulace do souboru MS Excel.

Tabulka 23 představuje jednotlivé proměnné.

název proměnné	co představuje
prichod	časy mezi příchody cestujících do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek
obsluha_kontrola_pv	doba obsluhy jednotlivých cestujících na přepážce kontroly palubních vstupenek
zdrzeni	doba, kterou stráví cestující ve frontě na bezpečnostní kontrolu
rozrazeni	vektor určující, zda se cestující z fronty na bezpečnostní kontrolu přesouvají k lince 1 nebo k lince 2 (1 = přesun k lince 1, 0 = přesun k lince 2)
obsluha_security_1_1	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole na 1. lince (1/3 vypočtené doby bezpečnostní kontroly)
obsluha_security_1_2	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole na 1. lince (celková doba obsluhy – 2/3 této doby)
obsluha_security_2_1	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole na 2. lince (1/3 vypočtené doby bezpečnostní kontroly)
obsluha_security_2_2	doba obsluhy jednotlivých cestujících v bezpečnostní kontrole na 2. lince (celková doba obsluhy – 2/3 této doby)
radek_1 - radek_8	pomocné proměnné pro zápis do souboru MS Excel
poradi_vstup	proměnná představující pořadí hodnoty, která má být použita
poradi_kontrola_pv	
poradi_rozrazeni	
poradi_zdrzeni	
poradi_security_1	
poradi_security_2	
poradi_security_3	
poradi_security_4	
poradi_security_5	
poradi_security_6	

**Tabulka 23:** Proměnné v modelu letu B

Kvantita proměnných a jejich inicializační akce jsou nastaveny obdobně, jak bylo popsáno na konci kapitoly 6.1.2.

### 6.2.3 Nastavení součásti

Na začátku simulačního modelu je definována *součást*, která představuje vstup cestujících do modelu – v tomto případě do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek. Součást nese název *cestujici* a je nastavena jako aktivní (*Active*), aby do modelu vstupovala samostatně podle přednastavených hodnot. Dále je zde nastaven maximální počet příchozích cestujících (*Maximum Arrivals*) a čas příchodu prvního cestujícího (*First Arrival At*). Časy mezi příchody (*Inter Arrival Time*) cestujících jsou nastaveny pomocí názvu celočíselné proměnné obsahující tyto časy a další celočíselné proměnné, určující pořadí použitého času. Množství příchozích cestujících (*Lot Size*) je u součásti (vstup) nastavena na hodnotu jedna, což zaručuje, že cestující vstupují do modelu jednotlivě. V praxi nastávaly i případy, kdy ve stejném časovém okamžiku vstoupilo do vstupního kanálu více cestujících. V těchto případech jsou intervaly mezi příchody cestujících nastaveny na nulovou hodnotu.

Vygenerování cestující vstupují do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek díky použití výstupního pravidla **PUSH**. Pro správnou funkčnost generování časů mezi příchody musí být nastavena akce při vytvoření zákazníka. Tato akce zajistí, že po každém vytvoření cestujícího, se navýší pořadí o hodnotu 1.

Tabulka 24 představuje nastavení součásti *cestujici*.

<b>součást</b>	cestujici
<b>typ</b>	aktivní ( <i>active</i> )
<b>maximum příchodů</b>	148
<b>první příchod v:</b>	56760.0
<b>čas mezi vstupy</b>	prichod (poradi_vstup)
<b>množství příchozích</b>	1
<b>pravidlo na výstupu</b>	PUSH to kontrola_pv_fronta
<b>akce při vytvoření</b>	poradi_vstup = poradi_vstup + 1

Tabulka 24: Nastavení součástí pro model letu B

### 6.2.4 Nastavení zásobníků

Zásobníky představují fronty před jednotlivými přepážkami. Kromě této funkce jsou využity i jako koncový prvek modelu – v tomto případě po ukončení bezpečnostní kontroly, jelikož další části odbavení nebyly změřeny.

Zásobník představující frontu před přepážkou kontroly palubních vstupenek *kontrola\_ps\_fronta* má nastavenou pouze dostatečnou kapacitu (byla ponechána

přednastavená hodnota 1 000), řazení nově přichozícího cestujícího je nastaveno na konec fronty (*Input – Option: Rear*) a výstup z prvního místa fronty (*Output – Option: First*).

U fronty před bezpečnostní kontrolou *security\_fronta* nastane změna nastavení v části zdržení (*Delays*), kde je zvolena varianta *Both*. Zde byly do polí pro minimální (*Minimal Time*) i maximální čas (*Maximal Time*) vloženy názvy příslušné proměnné, která představuje reálnou dobu prostoje cestujících v této frontě. Pro obě proměnné je zvoleno stejné pořadí. V koncovém pravidle (*Exit Rule...*) zůstává nastaveno pravidlo **WAIT** a to z toho důvodu, aby byli cestující přivolávání první částí příslušné bezpečnostní kontroly, podle stanovených pravidel, až bude tato linka volná. Důležité je nastavení pořadí, aby při každém vstupu byla jeho hodnota navýšena o hodnotu 1. Toto pravidlo je zapsáno v akcích na vstupu (*Actions on Input...*).

Tabulka 25 zobrazuje nastavení zásobníku představující výše popsanou frontu.

<b>zásobník</b>	security_fronta
<b>volba</b>	omezení z obou stran ( <i>both</i> )
<b>minimální čas</b>	zdrzeni (poradi_zdrzeni)
<b>maximální čas</b>	zdrzeni (poradi_zdrzeni)
<b>koncové pravidlo</b>	wait
<b>akce na vstupu</b>	poradi_zdrzeni= poradi_zdrzeni + 1

Tabulka 25: Nastavení zásobníků pro model letu B

Posledním zásobníkem je zásobník *free\_2*, který v tomto modelu koncový. V realitě by na něj navazovala pasová kontrola a nástup do letadla. Protože tyto fáze nebyly měřeny, cestující se po ukončení bezpečnostní kontroly přesunou právě do zásobníku *free\_2*, kde setrvají až do reálné doby ukončení nástupu na palubu letadla. Toho lze docílit vytvořením směny, která začíná v čase ukončení nástupu.

Následně se u zásobníku *free\_2* v položce *Delays* zvolí varianta *Both*, nastaví se hodnoty minimálního a maximálního zdržení, přiřadí se směna a nastaví koncové pravidlo **PUSH to SHIP**. Nastavení nulových hodnot minimálního a maximálního času zajistí, že k přesunu všech cestujících, kteří se nacházejí ve frontě, dojde přesně v čase zahájení směny. Definice této směny bude popsána v podkapitole 6.2.6. Pravidlo **PUSH to SHIP** zajistí, že součásti opustí model.

### 6.2.5 Nastavení strojů

Všechny stroje v modelu představují obslužné linky a jsou nastaveny jako jednoduché stroje (*Single*), což znamená, že do stroje vstupuje pouze jeden cestující

a pouze jeden také vystupuje. Aby byl zajištěn vyšší počet cestujících v obsluze na bezpečnostní kontrole, byly zde vloženy tři stroje pro každou linku, kterými každý cestující postupně prochází. To zajišťuje pobyt v obsluze až třem cestujícím v jednom časovém okamžiku. První stroj představuje přípravu cestujících na bezpečnostní kontrolu, druhý bezpečnostní rám a třetí rentgen. Doby obsluhy jednotlivých strojů bezpečnostní kontroly byly zjednodušeně nastaveny jako 1/3 doby obsluhy vypočteného z naměřených hodnot – času vstupu a výstupu z bezpečnostní kontroly. Uvedené zjednodušení samozřejmě může způsobit jistou nepřesnost při simulačním experimentu.

U každého stroje je nastaveno, odkud si bere cestující (*From...*) a kam je posílá po dokončení obsluhy (*To...*). Přepážka kontroly palubních vstupenek vyvolává cestující z fronty, která jí předchází pomocí pravidla **PULL**. Oba první stroje bezpečnostní kontroly jsou založeny také na pravidle **PULL**, které je použito spolu s podmínkou *IF*, protože je pro potřeby modely výhodné deterministicky přiřadit každého cestujícího ke konkrétní přepážce. K tomu je nutné vytvořit celočíselnou proměnnou, která bude v inicializační funkci obsahovat vektor, kde 1 znamená, že je cestující přiřazen k první lince bezpečnostní kontroly a 0 naopak, že postupuje k druhé lince bezpečnostní kontroly. Například pro první stroj první linky bezpečnostní kontroly zápis vypadá následovně:

*IF rozrazeni (poradi\_ rozrazeni) = 1*

*PULL from security\_fronta\_1*

*ELSE*

*WAIT*

*ENDIF*

Podmínka pak říká, že pokud cestující, který chce opustit frontu a hodnota jeho proměnné *rozrazeni* je rovna 1, přistupuje k první lince bezpečnostní kontroly (*security\_linka\_1\_1*). V případě, že hodnota jeho proměnné *rozrazeni* není rovna jedné, setrvává ve frontě. V tomto případě je pak přivolán prvním strojem druhé linky bezpečnostní kontroly (*security\_linka\_2\_1*), pro kterou podmínka platí v případě, že proměnné *rozrazeni* cestujícího je rovna 0.

Rozdíl u vstupních pravidel nastane u druhého a třetího stroje na bezpečnostní kontrole. Aby nedošlo ke konfliktu pravidel, je zanecháno u vstupu pouze pravidlo **WAIT** a propojení s ostatními stroji je provedeno pomocí výstupních pravidel okolních prvků. Výstupním pravidlem u všech strojů je pravidlo **PUSH** s určením následného postupu.



Důležité je nastavení délky obsluhy (*Cycle Time*) včetně pořadí proměnné, pro kterou musí být v akcích na výstupu (*Actions on Output...*) zajištěn nárůst o hodnotu 1. Ke strojům se přiřazují pracovníci (*Labor Rule...*), kteří je mají obsluhovat.

Tabulka 26 ukazuje nastavení strojů.

stroj	odkud	čas obsluhy	pracovník	kam	akce na vstupu	akce na výstupu
prepazka_kontrola_pv	PULL from kontrola_pv_fronta	obsluha_kontrola_pv (poradi_kontrola_pv)	obsluha_kontrola_pv_1	PUSH to security_fronta_1	-----	poradi_kontrola_pv = poradi_kontrola_pv + 1
security_linka_1_1	IF rozrazeni (poradi_rozrazeni) = 1 PULL from security_fronta_1 ELSE Wait ENDIF	obsluha_security_1_1 (poradi_security_1)	obsluha_security_0	PUSH to security_linka_1_2	poradi_rozrazeni = poradi_rozrazeni + 1	poradi_security_1 = poradi_security_1 + 1
security_linka_1_2	Wait	obsluha_security_1_2 (poradi_security_2)	obsluha_security_1 OR obsluha_security_2	PUSH to security_linka_1_3	-----	poradi_security_2 = poradi_security_2 + 1
security_linka_1_3	Wait	obsluha_security_1_1 (poradi_security_3)	obsluha_security_3 OR obsluha_security_4	PUSH to Free_2	-----	poradi_security_3 = poradi_security_3 + 1
security_linka_2_1	IF rozrazeni (poradi_rozrazeni) = 0 PULL from security_fronta_1 ELSE Wait ENDIF	obsluha_security_2_1 (poradi_security_4)	obsluha_security_0	PUSH to security_linka_2_2	poradi_rozrazeni = poradi_rozrazeni + 1	poradi_security_4 = poradi_security_4 + 1
security_linka_2_2	Wait	obsluha_security_2_2 (poradi_security_5)	obsluha_security_1 OR obsluha_security_2	PUSH to security_linka_2_3	-----	poradi_security_5 = poradi_security_5 + 1
security_linka_2_3	Wait	obsluha_security_2_1 (poradi_security_6)	obsluha_security_3 OR obsluha_security_4	PUSH to Free_2	-----	poradi_security_6 = poradi_security_6 + 1

**Tabulka 26:** Nastavení strojů pro model letu B

## 6.2.6 Pracovníci a definování směn

V modelu je definováno 6 pracovníků. Jeden z nich obsluhuje přepážku kontroly palubních vstupenek (*obsluha\_kontrola\_pv\_1*) a dalších 5 pracovníků je přiděleno k bezpečnostní kontrole. Pracovník *obsluha\_security\_0* odbavuje po celou dobu provozu první stroj linky. U dalších strojů jsou přiřazeni vždy 2 pracovníci (*obsluha\_security\_1* až *obsluha\_security\_4*), kteří se po 20 minutách střídají. Všichni pracovníci u bezpečnostní kontroly mají nastavenou kvantitu na 2. To zajistí, že jsou v modelu k dispozici vždy dva pracovníci se shodným nastavením a díky tomu je v modelu použito méně prvků. Tento přístup je zvolen pro zjednodušení modelu. Ve skutečnosti docházelo k přechodům pracovníků bezpečnostní kontroly mezi jednotlivými stanovišti, uvedené přechody však z důvodů zaznamenávání časů ukončení jednotlivých fází bezpečnostní kontroly nebylo možno monitorovat.

V modelu jsou nastaveny 4 směny. V následující tabulce (Tabulka 27) je uvedena směna *open* použitá pro pracovníka obsluhujícího přepážku kontroly palubních vstupenek (*obsluha\_kontrola\_pv\_1*) i pro pracovníky první části bezpečnostní kontroly (*obsluha\_security\_0*). Kromě pracovníků je tato směna přidělena i veškerým strojům v modelu. Tabulka 28 obsahuje informace o směnách pracovníků bezpečnostní kontroly *smena\_security\_1* a *smena\_security\_2*, kteří se po dvaceti minutách střídají (*obsluha\_security\_1* až *obsluha\_security\_4*).

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	56 700	0	15:45:00
2	15:45:00	7 200	0	0	17:45:00
	17:45:00	0	23 700	0	00:00:00

**Tabulka 27:** Směna pro přepážku kontroly palubních vstupenek, bezpečnostní kontrolu a pracovníky pro let B

Pro přehlednost je v tabulkách doba práce a odpočinku u jednotlivých period rozdělena do dvou řádků. V programu WITNESS je perioda vždy zapisována do jednoho řádku. V případě, že jsou ve směně definovány přesčasy, jsou zapsány v řádku pro práci i přesto, že se jejich doba nepromítne v odpracovaném čase, protože se odečítá z odpočinku pracovníka.

pracovník	perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	1	00:00:00	0	56 700	0	15:45:00
	2	15:45:00	1 200	0	300	16:05:00
		16:05:00	0	1 200	0	16:25:00
	3	16:25:00	1 200	0	300	16:45:00
		16:45:00	0	1 200	0	17:05:00
	4	17:05:00	1 200	0	300	17:25:00
		17:25:00	0	23 700	0	00:00:00
2	1	00:00:00	0	57 900	0	16:05:00
	2	16:05:00	1 200	0	300	16:25:00
		16:25:00	0	1 200	0	16:45:00
	3	16:45:00	1 200	0	300	17:05:00
		17:05:00	0	1 200	0	17:25:00
	4	17:25:00	1 200	0	0	17:45:00
		17:45:00	0	22 500	0	00:00:00

**Tabulka 28:** Směny pracovníků na bezpečnostní kontrole pro let B

Pro koncový zásobník modelu (*free\_2*) je vytvořena směna *odlet*, která je pouze pětiminutová a začíná v čase ukončení nástupu na palubu letadla (Tabulka 29). Byla vytvořena pouze proto, aby všichni cestující opustili model ve stejný časový okamžik – na začátku této směny. Zvolená délka směny nehraje při modelování této události žádnou roli.

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	63 900	0	17:45:00
2	17:45:00	300	0	0	17:50:00
	17:50:00	0	22 200	0	00:00:00

**Tabulka 29:** Směna pro ukončení simulace letu B

### 6.2.7 Statistiky ze simulace

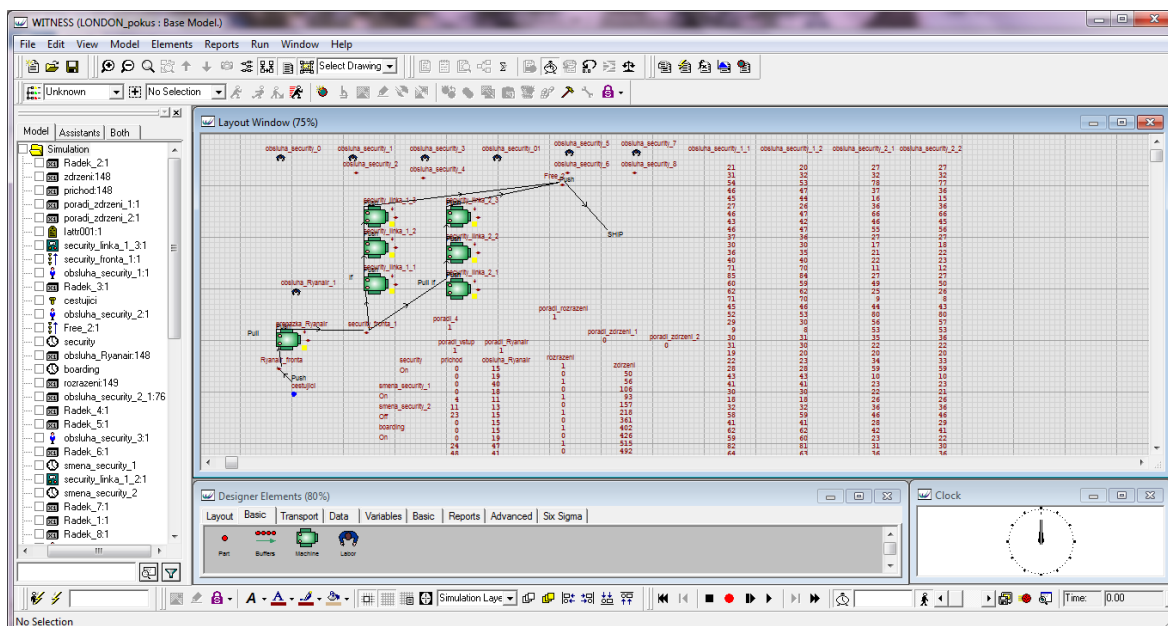
Na následujícím obrázku (Obrázek 22) je znázorněn simulační model naměřených hodnot letu B v pracovním prostředí software WITNESS.

Průměrnou dobu, kterou cestující v modelu letu B strávili, zobrazuje tabulka 30.

	průměrný čas v modelu	
	[s]	[hh:mm:ss]
<i>cestující</i>	5 147,63	1:25:48

**Tabulka 30:** Statistiky pro součásti k modelu letu B

Tabulka 31 zobrazuje počet cestujících, kteří do jednotlivých front vstoupili a vystoupili, maximální počty cestujících ve frontách a průměrné časy strávené v jednotlivých frontách.



**Obrázek 22:** Simulační model letu B

	počet vstupů	počet výstupů	maximálně ve frontě	průměrný čas ve frontě	
				[s]	[mm:ss]
<i>kontrola_ps_fronta</i>	148	148	16	97,88	1:38
<i>security_fronta</i>	148	148	37	806,28	13:26
<i>free_2</i>	148	148	148	0,00	0:00

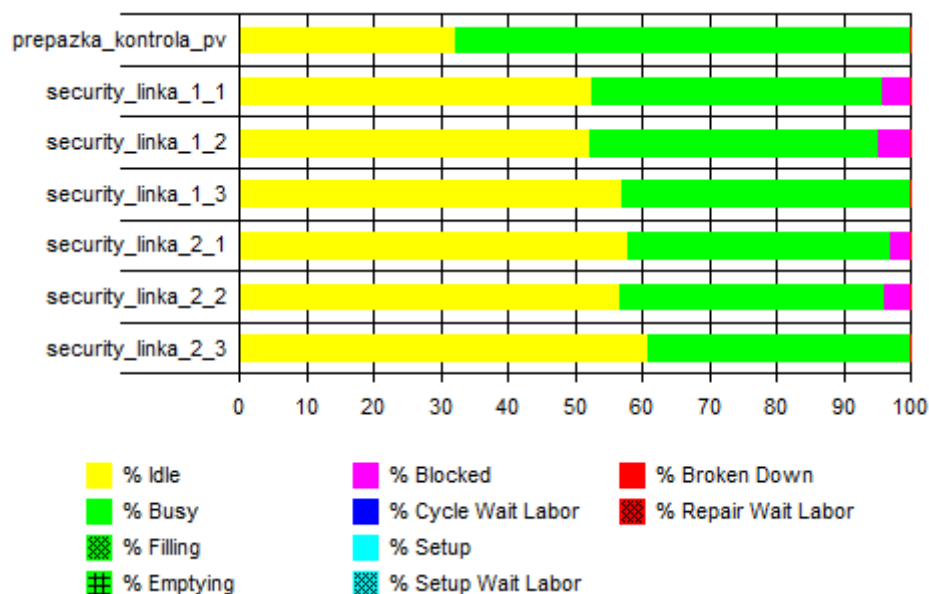
**Tabulka 31:** Statistiky zásobníků k modelu letu B

Z grafu zobrazujícího procentuální rozdělení činností strojů v modelu letu B (Graf 20), je zřejmé, že všechny stroje představující bezpečnostní kontrolu více než 50% doby, kdy byly v provozu, nepracovaly. Naopak stroj představující přepážku kontroly palubních vstupenek aktivně pracoval 67,78% své směny v rámci simulačního modelu. Tabulka 16 zobrazuje procentuální hodnoty práce a nečinnosti, případně blokování jednotlivých strojů a počet operací provedených strojem.

Graf 21 představuje vytižení pracovníků v modelu odbavení letu B. Stejně jako u strojů všichni pracovníci (vyjma pracovníka u přepážky kontroly palubních vstupenek)

více než 50% pracovní doby nepracovali. U pracovníků bezpečnostní kontroly však mohlo dojít k určitému zkreslení z důvodu volby většího počtu pracovníků než ve skutečnosti (důvody byly uvedeny v úvodu podkapitoly 6.2.6).

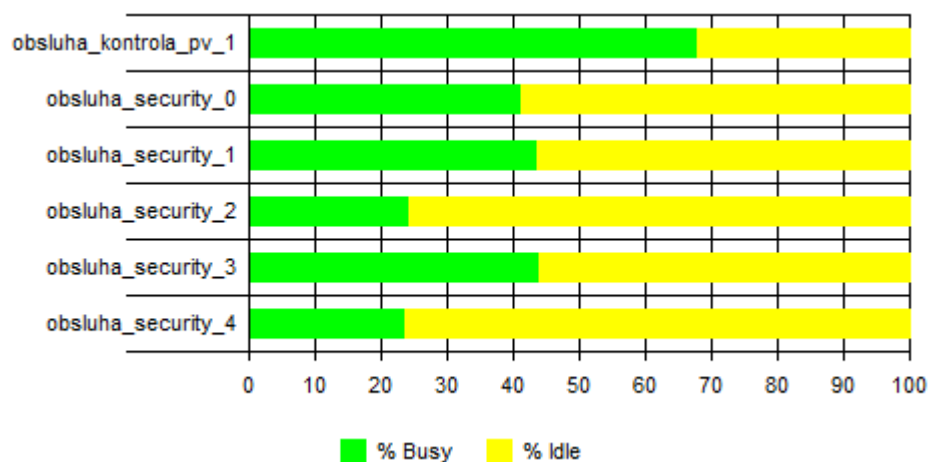
V následující tabulce (Tabulka 33) je uvedeno, kolik procent směny jednotliví pracovníci aktivně pracovali nebo čekali na práci. Dále je zde uveden počet započatých, ukončených a přerušených obsluh a průměrný čas jedné obsluhy.



**Graf 20:** Statistika strojů v modelu letu B

	nepracoval [%]	pracoval [%]	blokován [%]	počet operací
<i>prepazka_kontrola_pv</i>	32,22	67,78	0,00	148
<i>security_linka_1_1</i>	52,54	43,21	4,25	72
<i>security_linka_1_2</i>	52,04	43,19	4,76	72
<i>security_linka_1_3</i>	56,79	43,21	0,00	72
<i>security_linka_2_1</i>	57,79	39,25	2,96	76
<i>security_linka_2_2</i>	56,61	39,35	4,04	76
<i>security_linka_2_3</i>	60,75	39,25	0,00	76

**Tabulka 32:** Statistika strojů k modelu pro let B



Graf 21: Statistika pracovníků v modelu letu B

	pracoval [%]	nepracoval [%]	kvantita	počet započatých obsluh	počet ukončených obsluh	počet přerušených obsluh	průměrná doba obsluhy [s]
obsluha_kontrola_pv_1	67,78	32,22	1	148	148	0	32,97
obsluha_security_0	41,23	58,77	2	148	148	0	40,11
obsluha_security_1	43,63	56,37	2	101	101	2	38,88
obsluha_security_2	24,00	76,00	2	49	49	0	41,14
obsluha_security_3	43,97	56,03	2	102	102	3	38,79
obsluha_security_4	23,57	76,43	2	49	49	0	40,41

Tabulka 33: Statistika pracovníků k modelu pro let B

## 6.2.8 Porovnání výsledků simulace s naměřenými hodnotami

Při použití simulačního modelu je žádoucí porovnat výsledky simulace s naměřenými hodnotami. Jako vhodná místa pro srovnání se jeví místa vstupů a výstupů do front před odbavením a bezpečnostní kontrolou a také doba obsluhy cestujících v bezpečnostní kontrole.

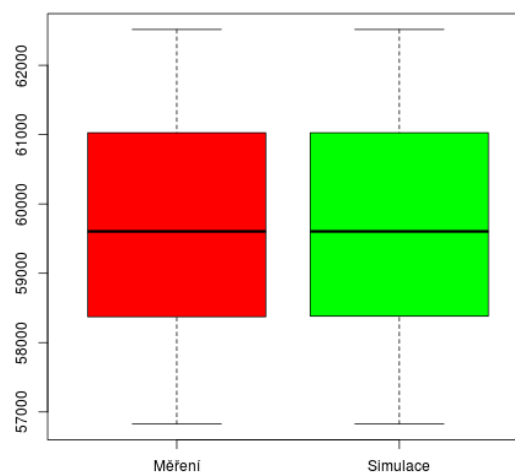
Příkazy pro zápis do souboru MS Excel (blíže popsáno v podkapitole 6.1.8) jsou vepsány ve všech akcích na vstupu (*Actions on Input...*) a výstupu (*Actions on Output...*) u obou front, a také v prvních strojích bezpečnostní kontroly na vstupu (*Actions on Input...*) a třetích strojích bezpečnostní kontroly na výstupu (*Actions on Output...*). Pro jednotlivé zápisy byly vytvořeny samostatné proměnné *radek*.

Z důvodu přehlednosti byly do porovnávacích tabulek zapisovány časové odchylky. Porovnání výsledků simulace s realitou (Tabulka 34 - Tabulka 36) ukazuje, že ve frontě u přepážky kontroly palubních vstupenek nedochází k žádným odchylkám na vstupu ani na výstupu. Problém nastává opět až u bezpečnostní kontroly. Ve frontě na bezpečnostní kontrolu na vstupech nejsou žádné odchylky, ale na výstupech neodpovídá 21,6% hodnot. Maximální časový rozdíl mezi realitou a simulací je zpoždění v simulaci oproti realitě o 54 sekund. Průměrně cestující ve frontě na bezpečnostní kontrolu čekali 13 minut a 23 sekund, doba jejich prostoje ve frontě se prodlouží maximálně o 6,7% doby průměrně strávené ve frontě. Odchylky časů obsluhy na první lince bezpečnostní kontroly se nacházejí u 18,0% hodnot, kde je maximální doba prodloužení obsluhy v simulaci oproti realitě o 48 sekund. U druhé bezpečnostní linky se liší 25,0% hodnot, zde se pobyt v obsluze v simulaci prodlouží maximálně o 1 minutu a 20 sekund. Průměrná doba obsluhy je 2 minuty, tudíž se doba bezpečnostní kontroly prodlouží maximálně o 40,0% průměrné doby obsluhy na první lince a o 66,7% na druhé lince bezpečnostní kontroly.

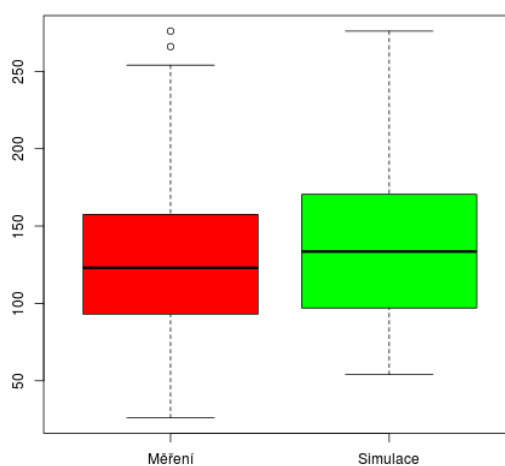
Z následujícího grafu (Graf 22) je vidět že se časy výstupů cestujících z fronty do bezpečnostní kontroly v realitě a v simulaci prakticky neliší, odchylky jsou zanedbatelné. Osa y představuje doby výstupu z fronty v sekundách.

Graf 23 a graf 24 porovnává dobu obsluhy na linkách bezpečnostní kontroly. Mírné prodloužení času obsluhy bylo způsobeno řešením linek bezpečnostní kontroly. Tyto rozdíly nejsou nijak markantní. Osa y představuje dobu obsluhy v sekundách.

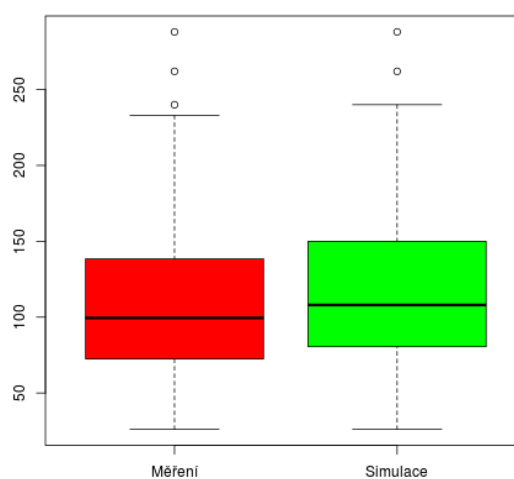
U bezpečnostní kontroly se daly předpokládat odchylky kvůli obsluze více zákazníků najednou, díky němuž bylo použito více strojů. Nastává zde situace, kdy může být následující stroj, do kterého má cestující vstoupit blokován a tím pádem se v simulaci zvětšuje délka prostoje ve frontě, případně i doba obsluhy na jednotlivých linkách bezpečnostní kontroly.



**Graf 22:** Krabicový graf pro porovnání výstupu fronty do bezpečnostní kontroly letu B



**Graf 23:** Krabicový graf pro dobu obsluhy na první lince bezpečnostní kontroly pro B



**Graf 24:** Krabicový graf pro dobu obsluhy na druhé lince bezpečnostní kontroly pro let B



cestující	odchylka		cestující	odchylka		cestující	odchylka		cestující	odchylka	
	vstup	výstup		vstup	výstup		vstup	výstup		vstup	výstup
	s	s		s	s		s	s		s	s
1	0	0	44	0	0	87	0	0	130	0	0
2	0	0	45	0	0	88	0	0	131	0	0
3	0	0	46	0	0	89	0	0	132	0	0
4	0	0	47	0	0	90	0	0	133	0	0
5	0	0	48	0	0	91	0	0	134	0	0
6	0	0	49	0	0	92	0	0	135	0	0
7	0	0	50	0	0	93	0	0	136	0	0
8	0	0	51	0	0	94	0	0	137	0	0
9	0	0	52	0	0	95	0	0	138	0	0
10	0	0	53	0	0	96	0	0	139	0	0
11	0	0	54	0	0	97	0	0	140	0	0
12	0	0	55	0	0	98	0	0	141	0	0
13	0	0	56	0	0	99	0	0	142	0	0
14	0	0	57	0	0	100	0	0	143	0	0
15	0	0	58	0	0	101	0	0	144	0	0
16	0	0	59	0	0	102	0	0	145	0	0
17	0	0	60	0	0	103	0	0	146	0	0
18	0	0	61	0	0	104	0	0	147	0	0
19	0	0	62	0	0	105	0	0	148	0	0
20	0	0	63	0	0	106	0	0			
21	0	0	64	0	0	107	0	0			
22	0	0	65	0	0	108	0	0			
23	0	0	66	0	0	109	0	0			
24	0	0	67	0	0	110	0	0			
25	0	0	68	0	0	111	0	0			
26	0	0	69	0	0	112	0	0			
27	0	0	70	0	0	113	0	0			
28	0	0	71	0	0	114	0	0			
29	0	0	72	0	0	115	0	0			
30	0	0	73	0	0	116	0	0			
31	0	0	74	0	0	117	0	0			
32	0	0	75	0	0	118	0	0			
33	0	0	76	0	0	119	0	0			
34	0	0	77	0	0	120	0	0			
35	0	0	78	0	0	121	0	0			
36	0	0	79	0	0	122	0	0			
37	0	0	80	0	0	123	0	0			
38	0	0	81	0	0	124	0	0			
39	0	0	82	0	0	125	0	0			
40	0	0	83	0	0	126	0	0			
41	0	0	84	0	0	127	0	0			
42	0	0	85	0	0	128	0	0			
43	0	0	86	0	0	129	0	0			

**Tabulka 34:** Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek prolet B

cestující	odchylka		cestující	odchylka		cestující	odchylka		cestující	odchylka	
	vstup	výstup		vstup	výstup		vstup	výstup		vstup	výstup
	s	s		s	s		s	s		s	s
1	0	0	44	0	0	87	0	0	130	0	0
2	0	0	45	0	0	88	0	0	131	0	0
3	0	0	46	0	-9	89	0	0	132	0	-28
4	0	0	47	0	0	90	0	-4	133	0	0
5	0	0	48	0	0	91	0	0	134	0	-19
6	0	0	49	0	0	92	0	0	135	0	0
7	0	0	50	0	-8	93	0	0	136	0	-17
8	0	0	51	0	0	94	0	-10	137	0	0
9	0	0	52	0	-3	95	0	0	138	0	-16
10	0	0	53	0	-6	96	0	0	139	0	-7
11	0	0	54	0	0	97	0	0	140	0	0
12	0	0	55	0	0	98	0	0	141	0	0
13	0	-8	56	0	0	99	0	-1	142	0	0
14	0	0	57	0	0	100	0	-4	143	0	0
15	0	0	58	0	0	101	0	0	144	0	0
16	0	0	59	0	0	102	0	0	145	0	0
17	0	-10	60	0	0	103	0	0	146	0	0
18	0	0	61	0	0	104	0	0	147	0	0
19	0	0	62	0	0	105	0	0	148	0	0
20	0	0	63	0	0	106	0	0			
21	0	0	64	0	0	107	0	0			
22	0	0	65	0	0	108	0	0			
23	0	0	66	0	0	109	0	0			
24	0	0	67	0	0	110	0	0			
25	0	-19	68	0	0	111	0	0			
26	0	-10	69	0	0	112	0	0			
27	0	-11	70	0	0	113	0	0			
28	0	0	71	0	0	114	0	0			
29	0	0	72	0	0	115	0	0			
30	0	0	73	0	0	116	0	0			
31	0	0	74	0	0	117	0	0			
32	0	0	75	0	0	118	0	0			
33	0	0	76	0	-13	119	0	-48			
34	0	-7	77	0	0	120	0	-37			
35	0	0	78	0	0	121	0	-54			
36	0	-9	79	0	0	122	0	0			
37	0	0	80	0	0	123	0	-17			
38	0	-17	81	0	0	124	0	0			
39	0	0	82	0	0	125	0	-33			
40	0	-51	83	0	-7	126	0	-5			
41	0	0	84	0	0	127	0	-21			
42	0	-7	85	0	0	128	0	0			
43	0	0	86	0	0	129	0	0			

Tabulka 35: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty bezpečnostní kontrole pro let B

bezpečnostní linka 1				bezpečnostní linka 2			
cestující	odchylka	cestující	odchylka	cestující	odchylka	cestující	odchylka
	s		s		s		s
1	0	44	-34	1	0	44	0
2	0	45	0	2	0	45	-14
3	0	46	-36	3	0	46	0
4	0	47	0	4	0	47	0
5	0	48	0	5	0	48	0
6	0	49	0	6	0	49	0
7	0	50	0	7	0	50	0
8	0	51	0	8	-15	51	0
9	0	52	0	9	0	52	-8
10	0	53	0	10	0	53	0
11	0	54	-3	11	0	54	-36
12	0	55	0	12	0	55	0
13	0	56	0	13	0	56	0
14	0	57	0	14	0	57	0
15	0	58	-64	15	0	58	0
16	-40	59	-49	16	0	59	0
17	-23	60	-58	17	-6	60	0
18	0	61	0	18	0	61	0
19	-50	62	0	19	0	62	0
20	-19	63	-23	20	0	63	-80
21	-46	64	0	21	-15	64	-46
22	-32	65	0	22	0	65	-18
23	0	66	-3	23	-35	66	0
24	0	67	0	24	-34	67	0
25	0	68	0	25	-14	68	0
26	0	69	0	26	0	69	-37
27	0	70	0	27	0	70	-19
28	0	71	-20	28	-28	71	-41
29	0	72	0	29	0	72	-6
30	-7			30	-1	73	0
31	0			31	0	74	0
32	0			32	0	75	0
33	0			33	0	76	0
34	-10			34	-5		
35	0			35	0		
36	0			36	-31		
37	0			37	0		
38	-29			38	0		
39	-37			39	-9		
40	-28			40	0		
41	-4			41	-6		
42	-34			42	0		
43	0			43	0		

**Tabulka 36:** Porovnání času stráveného v bezpečnostní kontrole pro let B

## 6.3 Tvorba obecného modelu letu mimo Schengenský prostor

### 6.3.1 Popis situace

Jelikož nedošlo ke změření všech časových údajů týkajících se procesu odbavení letu B a nebylo tedy možno vytvořit kompletní simulační model konkrétního letu, je model procesu odbavení letu do destinace mimo Schengenský prostor popsán pouze v obecné podobě. Při nastavování hodnot bylo vycházeno z naměřených hodnot pro let B. Pokud cestující odložili přesun k další kontrole v čase a v případě nástupu bylo vycházeno z naměřených hodnot pro vnitrostátní let. Jelikož pasová kontrola nebyla změřena, byl proveden odhad doby její obsluhy (viz dále). Model byl sestavován podle totožného schématu jako model letu B (Obrázek 14, strana 43). V simulačním modelu jsou uvažovány 2 přepážky pro odbavení zavazadel, přepážka kontroly palubních vstupenek, 2 linky bezpečnostní kontroly (vždy po 3 strojích), 2 přepážky pasové kontroly a jedna přepážka pro nástup. Přesto, že bylo vycházeno z naměřených hodnot, jde pouze o modelový příklad.

Veškeré časy v tomto modelu jsou uvedeny v sekundách. Začátek simulace je zvolen na čas 0. Simulace končí v okamžiku ukončení možnosti nástupu do letadla, což je za 2 hodiny (7 200 sekund). Tato hodnota je uvedena pro případné rychlejší provedení simulačního experimentu, který je přiložen v elektronické příloze č. 6.

### 6.3.2 Transformace do programu WITNESS

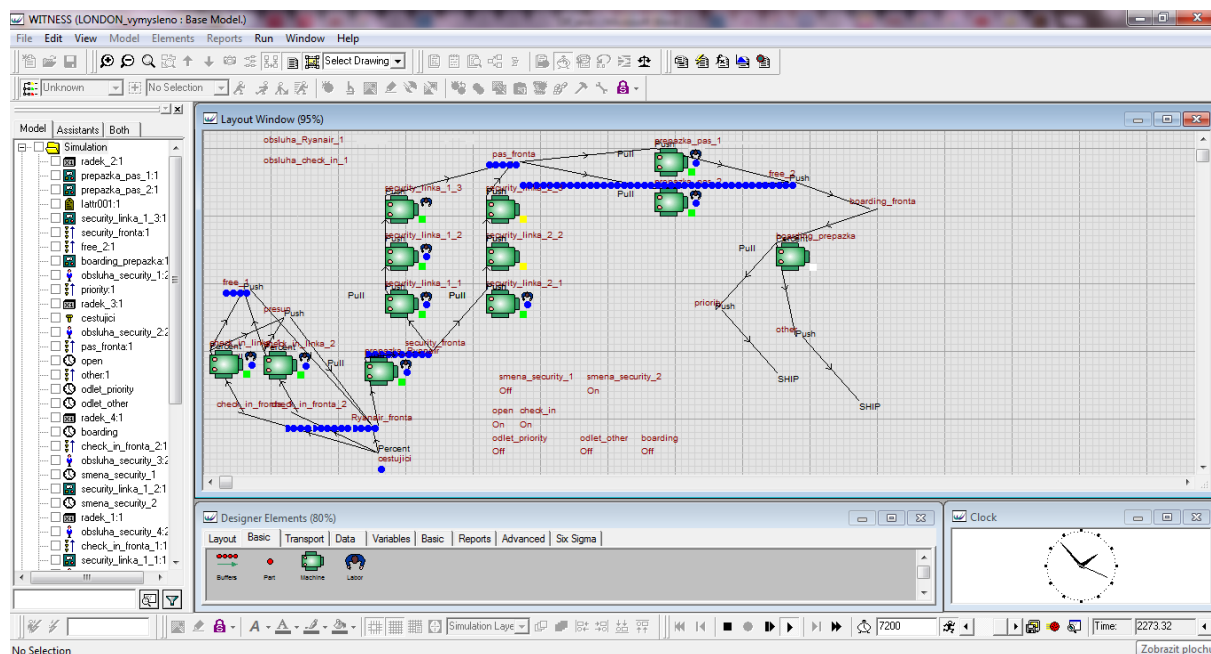
Cestující vstupující do modelu opět představují *součásti*, jednotlivé fronty představují *zásobníky* a přepážka a linky bezpečnostní kontroly *stroje*. Jednotlivým *strojům* byli přiděleni *pracovníci* a jim přiřazeny *směny*. Směny byly určeny i pro stroje.

Tabulka 37 zobrazuje základní prvky v simulačním modelu a jejich popis a obrázek 23 zobrazuje grafické vyjádření simulačního modelu.

název prvku	typ prvku	co představuje
cestující	součást	vstupní tok cestujících
check_in_fronta_1	zásobník	fronta na odbavení
check_in_fronta_2	zásobník	
check_in_linka_1	stroj	odbavovací přepážka
check_in_linka_2	stroj	
free_1	zásobník	odložení bezpečnostní kontroly v čase

presun	zásobník	doba přesunu od odbavovací přepážky k bezpečnostní kontrole
kontrola_pv_fronta	zásobník	fronta k přepážce kontroly palubních vstupenek
prepazka_kontrola_pv	stroj	přepážka kontroly palubních vstupenek
security_fronta	zásobník	fronta na bezpečnostní kontrolu
security_linka_1_1	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 1. část
security_linka_1_2	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 2. část
security_linka_1_3	stroj	bezpečnostní kontrola 1. linka 3. část
security_linka_2_1	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 1. část
security_linka_2_2	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 2. část
security_linka_2_3	stroj	bezpečnostní kontrola 2. linka 3. část
pas_fronta	zásobník	fronta na pasovou kontrolu včetně doby přesunu
prepazka_pas_1	stroj	přepážka pro pasovou kontrolu
prepazka_pas_2	stroj	
free_2	zásobník	čekání na otevření nástupu
boarding_fronta	zásobník	fronta na nástup
boarding_prepazka	stroj	nástup
priority	zásobník	fronta priority cestujících
other	zásobník	fronta ostatních cestujících
obsluha_check_in_1	pracovník	obsluha odbavení a nástupu
obsluha_check_in_2	pracovník	obsluha odbavení
obsluha_kontrola_pv_1	pracovník	obsluha přepážky kontroly palubních vstupenek
obsluha_security_0	pracovník	obsluha bezpečnostní kontroly
obsluha_security_1	pracovník	
obsluha_security_2	pracovník	
obsluha_security_3	pracovník	
obsluha_security_4	pracovník	
obsluha_pas	pracovník	obsluha pasové kontroly

**Tabulka 37:** Základní prvky obecného modelu letu mimo Schengenský prostor



Obrázek 23: Obecný model letu mimo Schengenský prostor

### 6.3.3 Nastavení součásti

Na začátku simulačního modelu je definována *součást*, která představuje vstup cestujících do modelu – v tomto případě do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek. Součást nese název *cestujici* a je nastavena jako aktivní (*Active*), aby do modelu vstupovala samostatně podle přednastavených hodnot. Maximální počet cestujících (*Maximum Arrivals*) nebyl nastaven. Množství přichozích cestujících (*Lot Size*) bylo ponecháno na hodnotě jedna. Tím jsou simulovány vstupy cestujících jednotlivě.

Následuje nastavení času mezi příchody. Pro tuto hodnotu bylo vycházeno ze zápisníku pro let B. Odtud lze jednoduše spočítat kolik cestujících přišlo za 1 jednu hodinu. Průměrný počet přichozích cestujících za hodinu byl určen na 117, z čehož plyne, že průměrná délka mezery mezi příchody cestujících je 30,77 sekundy. Cestující přicházejí do modelu v Poissonovském vstupním toku, jehož parametrem je  $\lambda$ . Časové mezery mezi vstupy se pak řídí exponenciálním rozdělením se stejným parametrem. Časy mezi příchody (*Inter Arrival Time*) jsou tedy v modelu zapsány jako *NEGEXP(30.77)*. Čas příchodu prvního cestujícího (*First Arrival At*) také není přesně stanoven a je náhodný, proto pro něj použit stejný zápis jako u časů mezi příchody.

Cestující po vstupu do modelu pokračují buď do jedné z front na odbavení, nebo přímo do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek. Jelikož nebylo změřeno, kolik cestujících si muselo nechat odbavit zavazadlo u odbavovací přepážky, bylo odhadnuto, že tuto možnost využilo 20% cestujících. Jelikož byly uvažovány dvě odbavovací přepážky, ke každé bylo přiřazeno 10% cestujících. Rozdělení cestujících mezi jednotlivé

přepážky v modelu byl řešen pomocí pravidla **PERCENT**. Konkrétně zápis vypadá takto: **PERCENT** kontrola\_pv\_fronta 80.00, check\_in\_fronta\_1 10.00, check\_in\_fronta\_2 10.00.

U součásti reprezentující vstup byla nastavena *směna* shodná se směnou otevření přepážek pro odbavení (*open*). Toto bylo zvoleno z toho důvodu, aby byl ukončen vstup cestujících. Tato směna byla zvolena z toho důvodu, aby bylo zamezeno generování nových cestujících. Vycházelo se z předpokladu, že po uzavření odbavovacích přepážek jsou již všichni cestující v procesu odbavení.

#### 6.3.4 Nastavení zásobníků

Zásobníky představují fronty před jednotlivými přepážkami a linkami v modelu. Použity jsou také při přesunech cestujících mezi jednotlivými fázemi odbavení, odložení další fáze odbavení v čase a pro výstup z modelu. Výstup z modelu je řešen přes zásobníky, protože při nástupu jsou cestující rozděleni do dvou částí – *priority* a *other*. Priority cestující si připlatili za konkrétní místo v letadle a nastupují na palubu jako první.

Zásobníky představující fronty (před odbavovacími přepážkami – *check\_in\_fronta\_1* a *check\_in\_fronta\_1 check\_in\_fronta\_2*, přepážkou kontroly palubních vstupenek – *kontrola\_pv\_fronta*, před bezpečnostní kontrolou - *security\_fronta\_1* a před nástupem - *boarding\_fronta*) mají nastavenou pouze dostatečnou kapacitu (byla ponechána přednastavená hodnota 1 000), řazení nově příchozího cestujícího je nastaveno na konec fronty (*Input – Option: Rear*) a výstup z prvního místa fronty (*Output – Option: First*).

U zásobníků *free\_1* představujícího odložení odbavení na přepážce kontroly palubních vstupenek v čase, *presun* představující dobu přesunu od odbavovacích přepážek k přepážce kontroly palubních vstupenek a *pas\_fronta* představující frontu před pasovou kontrolou, je kromě tohoto nastavení přidáno zdržení (*Delays*). Zvolena byla možnost nastavení maximálního času zdržení (*Max*). Je předpokládáno, že toto zdržení se vyvíjí podle exponenciálního rozdělení jako čas obsluhy. U zásobníku *free\_1* je pro parametr  $\lambda$  vycházeno z průměrného času odložení bezpečnostní kontroly v čase u letu A, u zásobníku *presun* z průměrného času pro přesun od odbavení k bezpečnostní kontrole u stejného letu. Stejná hodnota parametru je použita i pro zdržení ve frontě na pasovou kontrolu.

V koncovém pravidle (*Exit Rule...*) je u prvních dvou možností nastaven pomocí pravidla **PUSH** přesun k frontě před přepážkou kontroly palubních vstupenek. U fronty na pasovou kontrolu zůstává nastaveno pravidlo pro čekání **WAIT** a cestující jsou z fronty vyvolávání pomocí pravidla **PULL** u strojů představující pasovou kontrolu (*prepazka\_pas\_1* a *prepazka\_pas\_2*).

Následující tabulka (Tabulka 38) zobrazuje nastavení výše popsaných zásobníků.

<b>zásobník</b>	free_1	presun	pas_kontrola
<b>volba</b>	<i>Max</i>	<i>Max</i>	<i>Max</i>
<b>maximální čas</b>	NEGEXP(625)	NEGEXP (126)	NEGEXP (126)
<b>koncové pravidlo</b>	PUSH to kontrola_pv_fronta	PUSH to kontrola_pv_fronta	Wait

**Tabulka 38:** Nastavení zásobníků pro obecný model

Zásobník *free\_2* představující čekání cestujících na otevření poslední fáze odbavovacího procesu – nástupu na palubu letadla. Doba čekání není třeba přesně modelovat. Zapotřebí je ale namodelovat přesun cestujících do fronty k nástupu, jelikož si zásobník *boarding\_fronta* v není schopen cestující přivolat pomocí vstupního pravidla **PULL**. U zásobníku *free\_2* při volbě varianty *Max* (případně *Both*) v části nastavení *Delay* lze kromě doby zdržení zásobníku přiřadit i směna (*Shift*) a koncové pravidlo (*Exit Rule...*), což zajistí propojení se zásobníkem *boarding\_fronta*. K zásobníku *free\_2* se přiřadí předem nadefinovaná směna *boarding*. Začátek směny odpovídá reálnému času zahájení poslední fáze odbavení, konec směny reálnému času ukončení poslední fáze odbavení. Do koncového pravidla se nastaví pravidlo **PUSH**, které přesouvá cestující do zásobníku *boarding\_fronta* po zahájení směny. Doba maximálního zdržení je nastavena na nulovou hodnotu, což zajistí, že cestující mohou vstoupit do zásobníku *boarding\_fronta* ihned po zahájení směny. Definice této směny bude popsána v podkapitole 6.3.6.

Poslední dva zásobníky *priority* a *other* ukončují model. Doba zdržení ve frontách není důležitá, podstatné je to, aby cestující ze zásobníku *priority* měli možnost opustit model dříve než cestující ze zásobníku *other*. Toto je opět řešeno pomocí směn. V části *Delay* je zvolena varianta *Max* (případně *Both*), která umožňuje nastavení směny i koncového pravidla. V části směna (*Shift*) byly vloženy směny, která zaručí, že všichni *priority* cestující mají možnost opustit model 10 minut před ukončením poslední fáze obsluhy (směna *odlet\_priority*), ostatní až v čase ukončením poslední fáze obsluhy (směna *odlet\_other*). Koncové pravidlo u obou zásobníků musí zajistit výstup součástí z modelu, je tedy použito pravidlo **PUSH to SHIP**. Doba maximálního zdržení je nastavena na nulovou hodnotu, což zajistí, že cestující mohou opustit model po zahájení přiřazené směny.

### 6.3.5 Nastavení strojů

Všechny stroje v modelu představují obslužné linky a jsou nastaveny jako jednoduché stroje (*Single*), což znamená, že do stroje vstupuje pouze jeden cestující



a pouze jeden také vystupuje. Aby byl zajištěn vyšší počet cestujících v obsluze na bezpečnostní kontrole, byly zde vloženy tři stroje pro každou linku, kterými cestující postupně prochází. Což zajišťuje pobyt v obsluze až třem cestujícím v jednom časovém okamžiku. První stroj představuje přípravu cestujících na bezpečnostní kontrolu, druhý stroj bezpečnostní rám a třetí rentgen.

U každého stroje je nastaveno odkud si bere cestující (*From...*) a kam je posílá po dokončení obsluhy (*To...*). U většiny strojů je nastaveno vstupní pravidlo jako **PULL** a cestující jsou přebíráni z front předcházejícím těmto strojům. Rozdíl nastane u druhého a třetího stroje v jednotlivých linkách na bezpečnostní kontrole (*security\_linka\_1\_2*, *security\_linka\_1\_3*, *security\_linka\_2\_2* a *security\_linka\_2\_3*). Aby zde nebyla pravidla nastavována proti sobě, je ponecháno u vstupu pouze pravidlo pro čekání **WAIT** a propojení s ostatními stroji je provedeno pomocí výstupních pravidel okolních prvků.

U většiny strojů je nastaveno jako výstupní pravidlo **PUSH**, které posílá cestující do následujícího zásobníku, v případě bezpečnostní kontroly do dalšího stroje. Pravidlo na výstupu u odbavovacích přepážek (*check\_in\_linka\_1* a *check\_in\_linka\_2*) umožňuje cestujícím pokračovat ihned k přepážce kontroly palubních vstupenek nebo tuto část odložit čase. Podle měření letu A bylo rozhodnuto, že od každé odbavovací přepážky se polovina cestujících přesune do fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek (pomocí zásobníku *presun*) a druhá polovina odloží další část odbavení v čase (využitím zásobníku *free\_1*). Toto je řešeno pomocí pravidla **PERCENT** na výstupu.

Při dělení cestujících do zásobníků *priority* a *other* na konci modelu, bylo odhadnuto, že 30% cestujících si připlatilo za sedadlo a přecházejí tedy do zásobníku *priority*. Řešení je opět pomocí pravidla **PERCENT** nastaveného jako výchozí u stroje *boarding\_prepazka*.

Důležité je nastavení doby obsluhy (*Cycle Time*). Doba obsluhy je dána exponenciálním rozdělením. Parametr  $1/\lambda$  doby obsluhy pro odbavovací linky a nástup byl počítán ze zápisníků pro let A, pro přepážku kontroly palubních vstupenek ze zápisníků pro let B. Průměrná doba obsluhy v bezpečnostní kontrole je zjištěna ze zápisníků obou letů a poté rozdělena na třetiny. U pasové kontroly byla průměrná doba obsluhy zvolena na 60 sekund. Ke strojům byli dále přiřazeni pracovníci (*Labor Rule...*), kteří je mají obsluhovat.

Tabulka 39 ukazuje nastavení strojů.

stroj	odkud	čas obsluhy	pracovník	kam	směna
check_in_linka_1	PULL from check_in_fronta_1	NEGEXP (132)	obsluha_check_in_1	PERCENT free_1 50.00, presun 50.00	check_in
check_in_linka_2	PULL from check_in_fronta_2	NEGEXP (132)	obsluha_check_in_1	PERCENT free_1 50.00, presun 50.00	check_in
prepazka_kontrola_pv	PULL from kontrola_pv_fronta	NEGEXP (33)	obsluha_kontrola_pv_1	PUSH to security_fronta	open
security_linka_1_1	PULL from security_fronta	NEGEXP (50)	obsluha_security_0	PUSH to security_linka_1_2	open
security_linka_1_2	Wait	NEGEXP (50)	obsluha_security_1 OR obsluha_security_2	PUSH to security_linka_1_3	open
security_linka_1_3	Wait	NEGEXP (50)	obsluha_security_3 OR obsluha_security_4	PUSH to pas_fronta	open
security_linka_2_1	PULL from security_fronta	NEGEXP (50)	obsluha_security_0	PUSH to security_linka_2_2	open
security_linka_2_2	Wait	NEGEXP (50)	obsluha_security_1 OR obsluha_security_2	PUSH to security_linka_2_3	open
security_linka_2_3	Wait	NEGEXP (50)	obsluha_security_3 OR obsluha_security_4	PUSH to pas_fronta	open
prepazka_pas_1	PULL from pas_fronta	NEGEXP (60)	obsluha_pas	PUSH to free_2	open
prepazka_pas_2	PULL from pas_fronta	NEGEXP (60)	obsluha_pas	PUSH to free_2	open
boarding_prepazka	PULL from boarding_fronta	NEGEXP (10)	obsluha_check_in_1	PERCENT priority 30.00, other 70.00	boarding

**Tabulka 39:** Nastavení strojů pro obecný model

### 6.3.6 Pracovníci a definování směn

V modelu je definováno 8 pracovníků, kterým je přidělena kromě směny i kvantita (Tabulka 40). Kvantita pracovníků je řešena, aby bylo v modelu co nejméně prvků s totožným nastavením, a zároveň aby mohly být obsluhovány všechny stroje současně.

pracovník	kvantita	směna
obsluha_check_in_1	2	open check_in
obsluha_kontrola_pv_1	1	open
obsluha_security_0	2	open
obsluha_security_1	2	security_smena_1
obsluha_security_2	2	security_smena_2
obsluha_security_3	2	security_smena_1
obsluha_security_4	2	security_smena_2
obsluha_pas	2	open

**Tabulka 40:** Nastavení pracovníků pro obecný model

V simulačním modelu se vyskytuje 7 typů směn. Směna *open* (Tabulka 41) začíná dvě hodiny před odletem letadla a tímto odletem končí. Je přiřazena jednomu z pracovníků *obsluha\_check\_in\_1*, který kromě odbavení obsluhuje také nástup, dále pak pracovníkům *obsluha\_kontrola\_pv\_1*, *obsluha\_pas* a pracovníkům přiřazeným k prvním strojům bezpečnostní kontroly *obsluha\_security\_0*. Kromě pracovníků je přidělena také přepážce kontroly palubních vstupenek, a veškerým strojům představující bezpečnostní i pasovou kontrolu.

Pro odbavovací přepážky (*check\_in\_linka\_1* a *check\_in\_linka\_2*) a také jednoho z pracovníků *obsluha\_check\_in\_1* je vytvořena zkrácená směna *check\_in* (Tabulka 42). Je to z toho důvodu, že odbavovací linky jsou uzavírány dříve než další fáze odbavovacího procesu. Jeden z pracovníků má tuto směnu přidělenou, protože nezajišťuje odbavení ve fázi nástup do letadla.

Směny *security\_smena\_1* a *security\_smena\_2* (Tabulka 43) jsou vytvořeny pro pracovníky obsluhující druhé a třetí stroje bezpečnostních linek (*obsluha\_security\_1* až *obsluha\_security\_4*), kteří se střídají po dvaceti minutách. V těchto směnách jsou definovány i pětiminutové přesčasy.

Další definovanou směnou je směna *boarding* (Tabulka 44), která je přiřazena přepážce pro nástup *prepazka\_boarding* a také zásobníku *free\_2*, kde cestující čekají na otevření fáze nástup na palubu letadla.

Následuje nastavení směny *odlet\_priority* (Tabulka 45), která je přiřazena zásobníku *priority* a umožňuje cestujícím opustit model 10 minut před ukončením odbavovacího procesu a směny *odlet\_other* (Tabulka 46), která je přiřazena zásobníku

*other* a cestující pouští z modelu až v čas, kdy je ukončen odbavovací proces. Zvolená délka směny nehraje při modelování této události žádnou roli.

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	7 200	0	0	2:00:00
	2:00:00	0	79 200	0	00:00:00

**Tabulka 41:** Směna otevření odbavení pro obecný model

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	4 800	0	0	1:20:00
	1:20:00	0	81 600	0	00:00:00

**Tabulka 42:** Směna otevření odbavovacích přepážek pro obecný model

název	perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
smena_security_1	1	00:00:00	1 200	0	300	00:20:00
		00:20:00	0	1 200	0	00:40:00
	2	00:40:00	1 200	0	300	1:00:00
		1:00:00	0	1 200	0	1:20:00
	3	1:20:00	1 200	0	0	1:40:00
		1:40:00	0	80 400	0	00:00:00
smena_security_2	1	00:00:00	0	1 200	0	0:20:00
	2	0:20:00	1 200	0	300	0:40:00
		0:40:00	0	1 200	0	1:00:00
	3	1:00:00	1 200	0	300	1:20:00
		1:20:00	0	1 200	0	1:40:00
	4	1:40:00	1 200	0	0	2:00:00
		2:00:00	0	22 500	0	00:00:00

**Tabulka 43:** Směny pracovníků na bezpečnostní kontrole pro obecný model

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	5 400	0	1:30:00
2	1:30:00	1 800	0	0	2:00:00
	2:00:00	0	79 200	0	00:00:00

**Tabulka 44:** Směna pro nástup pro obecný model

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	6 600	0	1:50:00
2	1:50:00	300	0	0	1:55:00
	1:55:00	0	79 500	0	00:00:00

**Tabulka 45:** Směna pro odchod z modelu priority cestujících pro obecný model

perioda	začátek [hh:mm:ss]	práce [s]	odpočinek [s]	přesčas [s]	konec [hh:mm:ss]
1	00:00:00	0	7 200	0	2:00:00
2	2:00:00	300	0	0	2:05:00
	2:05:00	0	78 900	0	00:00:00

**Tabulka 46:** Směna pro odchod z modelu zbytku cestujících pro obecný model

Pro přehlednost je v tabulkách doba práce a odpočinku u jednotlivých period rozdělena do dvou řádků. V programu WITNESS je perioda vždy zapisována do jednoho řádku. V případě, že jsou ve směně definovány přesčasy, jsou zapsány v řádku pro práci i přesto, že se jejich doba nepromítne v odpracovaném čase, protože se odečítá z odpočinku pracovníka.

### 6.3.7 Statistiky ze simulace

Tabulka 47 zobrazuje počet cestujících, kteří vstoupili a vystoupili z obecného modelu a průměrnou dobu, kterou v modelu strávili. Z výsledků je zřejmé, že 3 cestující nestihli projít celým odbavením před odletem letadla.

	počet vstupů	počet výstupů	průměrný čas v modelu	
			[s]	[mm:ss]
<i>cestujici</i>	145	142	2629,12	43:49

**Tabulka 47:** Statistiky pro součásti k obecnému modelu

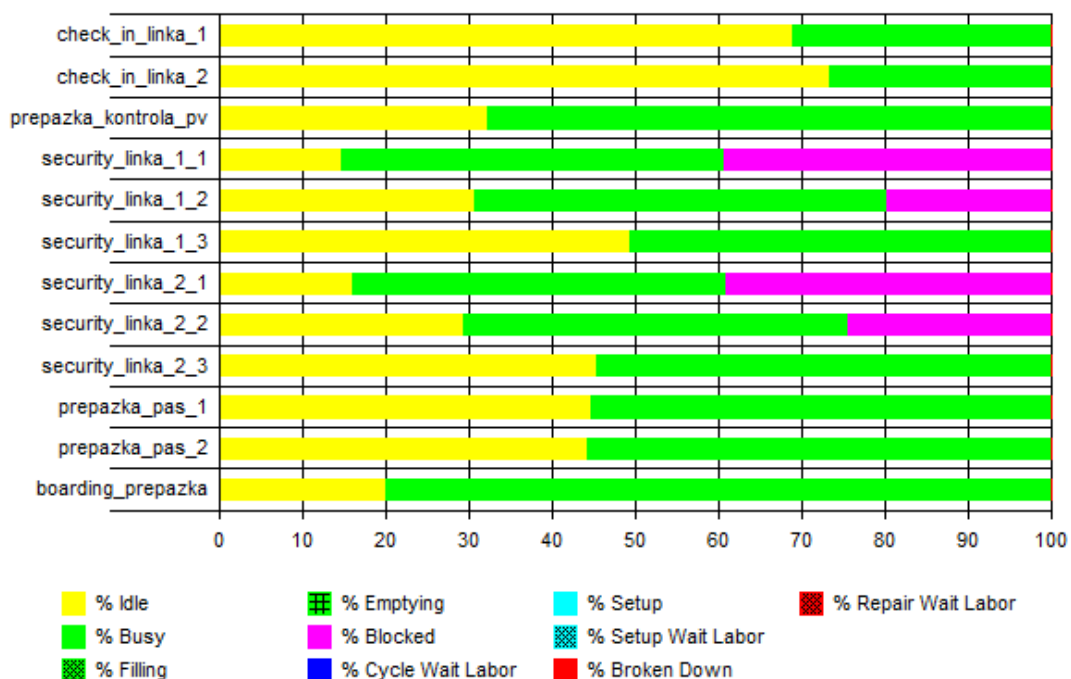
Následuje statistika zásobníků v obecném modelu (Tabulka 48). Zde je zapsán počet cestujících, kteří do jednotlivých front vstoupili a vystoupili, maximální počet cestujících ve frontách v jednom časovém okamžiku a průměrný čas strávený v jednotlivých frontách. Z této tabulky je zřejmé, že jeden z cestujících, který nestihl odlet, zůstal ve frontě na první odbavovací přepážku.

	počet vstupů	počet výstupů	maximálně ve frontě	průměrný čas ve frontě	
				[s]	[mm:ss]
<i>check_in_fronta_1</i>	18	17	1	182,44	3:02

<i>check_in_fronta_2</i>	11	11	1	14,56	0:14
<i>free_1</i>	16	16	6	760,72	12:41
<i>presun</i>	10	10	2	102,67	1:43
<i>kontrola_pv_fronta</i>	142	142	17	214,68	3:35
<i>security_fronta</i>	142	142	32	672,88	11:13
<i>pas_fronta</i>	142	142	10	224,09	3:44
<i>free_2</i>	142	142	108	0,00	00:00
<i>boarding_fronta</i>	142	142	108	558,75	9:19
<i>priority</i>	34	34	26	0,00	00:00
<i>other</i>	108	108	108	0,00	00:00

**Tabulka 48:** Statistiky zásobníků k obecnému modelu

Graf 25 zobrazuje graf využití strojů obecného modelu. Nejméně vytíženými stroji jsou odbavovací přepážky. Doba, kdy neobsluhují, se pohybuje kolem 70% jejich směny. Naopak za nejvíce využitý stroj lze považovat přepážka pro nástup, která pracuje 80% doby, kdy je v provozu. Značné je i blokování prvních linek bezpečnostní kontroly, které dosahuje téměř 40% doby obsluhy. Další dva cestující, kteří se nedostali z modelu, nestihli dokončit svou obsluhu u odbavovacích přepážek. Tabulka 49 zobrazuje procentuální hodnoty práce a nečinnosti, případně blokování jednotlivých strojů a počet operací provedených strojem.

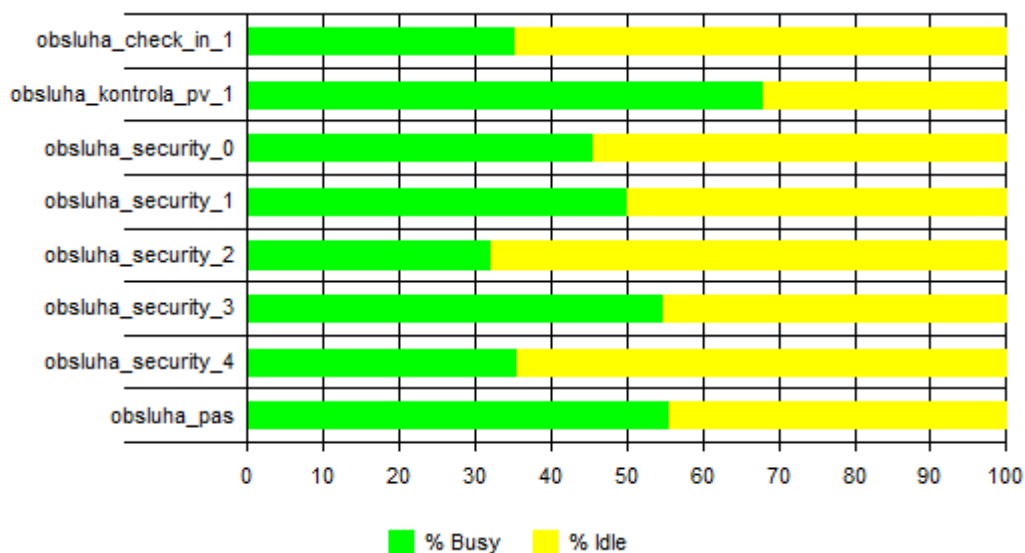


**Graf 25:** Statistiky strojů v obecném modelu

	nepracoval [%]	pracoval [%]	blokován [%]	počet operací
<i>check_in_linka_1</i>	68,90	31,10	0,00	16
<i>check_in_linka_1</i>	73,16	26,84	0,00	10
<i>prepazka_kontrola_pv</i>	32,10	67,90	0,00	142
<i>security_linka_1_1</i>	14,54	46,12	39,34	70
<i>security_linka_1_2</i>	30,63	49,51	19,86	70
<i>security_linka_1_3</i>	49,31	50,69	0,00	70
<i>security_linka_2_1</i>	15,86	44,97	39,18	72
<i>security_linka_2_2</i>	29,24	46,23	24,56	72
<i>security_linka_2_3</i>	45,33	54,67	0,00	72
<i>pas_prerazka_1</i>	44,49	55,51	0,00	71
<i>pas_prerazka_2</i>	44,16	55,84	0,00	71
<i>boarding_preprazka_1</i>	19,98	80,02	0,00	142

**Tabulka 49:** Statistiky strojů k obecnému modelu

Následuje graf vytižení pracovníků v obecného modelu letu mimo Schengenský prostor (Graf 26). Pracovníci jsou aktivní ve většině případů pouze kolem 50% své směny.



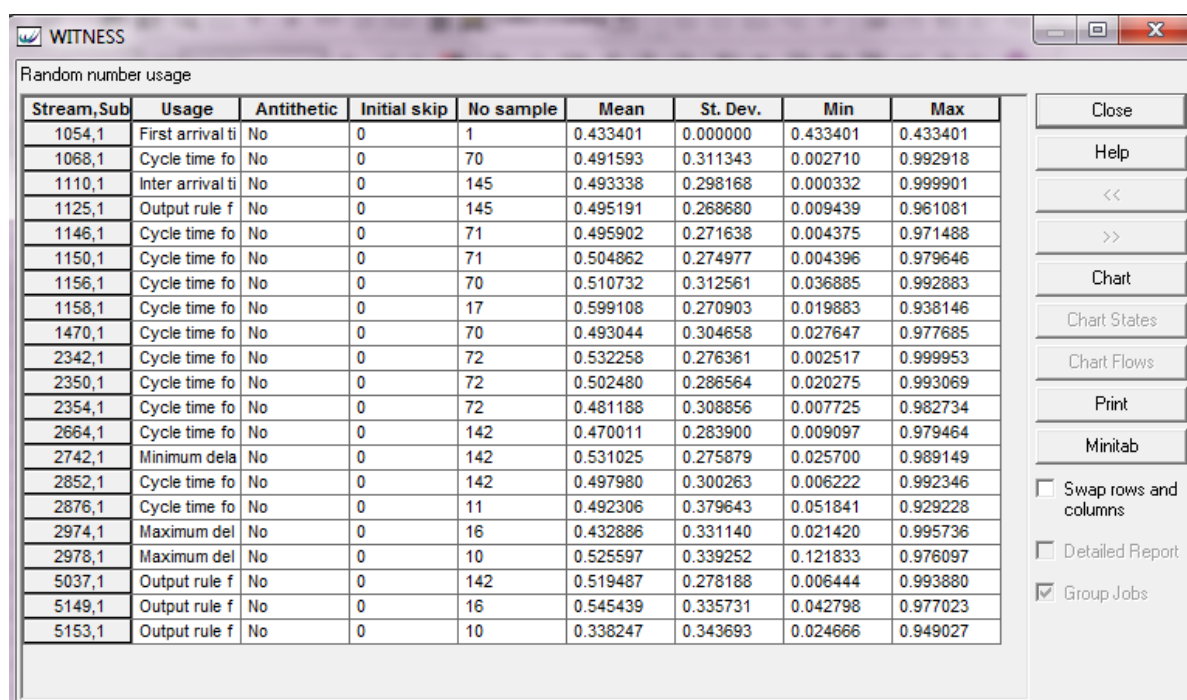
**Graf 26:** Činnost pracovníků v obecném modelu

V následující tabulce (Tabulka 50) je zapsáno kolik procent směny jednotliví pracovníci odpracovali a kolik procent čekali na cestujícího. V tabulce je také uveden počet započatých, ukončených a přerušených obsluh a průměrný čas jedné obsluhy.

	pracoval [%]	nepracoval [%]	kvantita	počet započatých obsluh	počet ukončených obsluh	počet přerušených obsluh	průměrná doba obsluhy [s]
<i>obsluha_check_in_1</i>	35,18	64,82	2	170	170	0	24,83
<i>obsluha_kontrola_pv_1</i>	67,90	32,10	1	142	142	0	34,43
<i>obsluha_security_00</i>	45,54	45,46	2	142	142	0	46,18
<i>obsluha_security_1</i>	49,92	50,08	2	96	96	2	43,68
<i>obsluha_security_2</i>	32,14	67,86	2	48	48	0	56,25
<i>obsluha_security_3</i>	54,72	45,28	2	96	96	4	47,88
<i>obsluha_security_4</i>	35,59	64,41	2	50	50	0	59,79
<i>obsluha_pas</i>	55,67	44,33	2	142	142	0	56,46

**Tabulka 50:** Statistiky pracovníků pro obecný model

Po každém spuštění simulace s tímto nastavením budou výsledky stejné, jelikož WITNESS bere náhodné hodnoty vždy ze stejného proudu pseudonáhodných čísel, který lze zobrazit přes hlavní menu *Reports... -Random numbers...* Obrázek 24 zobrazuje proud pseudonáhodných čísel pro výsledky zmíněné v této kapitole. Tyto proudy lze samozřejmě měnit, a to například pomocí generování náhodných hodnot v MS Excel, které budou následně čteny programem WITNESS.



Stream,Sub	Usage	Antithetic	Initial skip	No sample	Mean	St. Dev.	Min	Max
1054,1	First arrival ti	No	0	1	0.433401	0.000000	0.433401	0.433401
1068,1	Cycle time fo	No	0	70	0.491593	0.311343	0.002710	0.992918
1110,1	Inter arrival ti	No	0	145	0.493338	0.298168	0.000332	0.999901
1125,1	Output rule f	No	0	145	0.495191	0.268680	0.009439	0.961081
1146,1	Cycle time fo	No	0	71	0.495902	0.271638	0.004375	0.971488
1150,1	Cycle time fo	No	0	71	0.504862	0.274977	0.004396	0.979646
1156,1	Cycle time fo	No	0	70	0.510732	0.312561	0.036885	0.992883
1158,1	Cycle time fo	No	0	17	0.599108	0.270903	0.019883	0.938146
1470,1	Cycle time fo	No	0	70	0.493044	0.304658	0.027647	0.977685
2342,1	Cycle time fo	No	0	72	0.532258	0.276361	0.002517	0.999953
2350,1	Cycle time fo	No	0	72	0.502480	0.286564	0.020275	0.993069
2354,1	Cycle time fo	No	0	72	0.481188	0.308856	0.007725	0.982734
2664,1	Cycle time fo	No	0	142	0.470011	0.283900	0.009097	0.979464
2742,1	Minimum dela	No	0	142	0.531025	0.275879	0.025700	0.989149
2852,1	Cycle time fo	No	0	142	0.497980	0.300263	0.006222	0.992346
2876,1	Cycle time fo	No	0	11	0.492306	0.379643	0.051841	0.929228
2974,1	Maximum del	No	0	16	0.432886	0.331140	0.021420	0.995736
2978,1	Maximum del	No	0	10	0.525597	0.339252	0.121833	0.976097
5037,1	Output rule f	No	0	142	0.519487	0.278188	0.006444	0.993880
5149,1	Output rule f	No	0	16	0.545439	0.335731	0.042798	0.977023
5153,1	Output rule f	No	0	10	0.338247	0.343693	0.024666	0.949027

**Obrázek 24:** Proud pseudonáhodných čísel



## 7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, do jaké míry lze v simulačním programu WITNESS, který je produktem britské společnosti Lanner Group Ltd., nasimulovat chování cestujících při odbavení na letišti. To bylo ověřeno pomocí dvou simulačních modelů. První z nich byl vytvořen pro let do destinace Schengenského prostoru, druhý pro let mimo něj.

Tyto modely vychází z měření provedených na Letišti Ostrava, a.s. V dohodě s provozním ředitelem letiště Ing. Michalem Holubcem proběhlo sledování vnitrostátního a mezinárodního letu. Při měření byly hodnoty zaznamenávány do předem připravených zápisníků (vzory viz příloha č. 2 a příloha č. 3). Zápisníky jsou rozděleny do několika částí a to na formuláře vytvořené pro sledování procesu odbavení na odbavovacích přepážkách, při bezpečnostní kontrole a nástup, případně u letů mimo Schengenský prostor také pro přepážky pasové kontroly. Pro každou etapu procesu odbavení byl zaznamenáván počet příchozích cestujících ve skupině do fronty před přepážkou, v případě otevření více přepážek nebo linek bezpečnostní kontroly, poznámka, do které z front přistoupili, dále čas vstupu do fronty, čas začátku obsluhy, čas konce obsluhy a navazující činnost cestujícího – tedy, zda se ihned po ukončení obsluhy přesunul k další části odbavení nebo ji odložil v čase.

Měření obou letů proběhlo v prosinci 2015 ve dvou lidech, kdy se jeden věnoval odbavení a nástupu do letadla a druhý bezpečnostní kontrole. Problém nastal při měření letu B, kdy bylo možno zaznamenat pouze obsluhu na přepážce kontroly palubních vstupenek a bezpečnostní kontrolu.

Z naměřených hodnot vznikly přehledné grafy, které představují časové průběhy příchodů cestujících k jednotlivým částem odbavení a délky trvání jednotlivých odbavení.

Dále je v práci představen samotný simulační program WITNESS a jeho základní funkce. Na tuto část navazuje popis, jak jsou reálné fronty, přepážky, linky transformovány do simulačního modelu. Se sestavenými modely pro provedení simulačních experimentů.

Za účelem validace simulačních modelů jsou výsledky simulačních experimentů porovnány s hodnotami vypočítanými z reálného měření. Porovnáván je prostoj v jednotlivých frontách a délka obsluhy v bezpečnostní kontrole. Bezpečnostní kontrola je porovnávána z toho důvodu, že v simulaci není brána jako jedna linka, ale jako skupina tří strojů, které na sebe navazují. První část představuje odkládání příručních zavazadel a kovových věcí, druhá průchod bezpečnostním rámem a třetí pak samotný rentgen.

K tomuto řešení bylo přistoupeno z toho důvodu, že se v bezpečnostní kontrole při měření na letišti nacházeli až tři lidé najednou, což nedokáže jediný stroj v software WITNESS zohlednit.

Z dosažených výsledků je zřejmé, že rozdíly mezi simulací a měřením se objevují pouze na výstupu z fronty na bezpečnostní kontrolu a v délce obsluhy bezpečnostní kontroly, což se dalo předpokládat kvůli volbě hodnot operačního času strojů reprezentujících jednotlivé fáze bezpečnostní kontroly. Tyto odchylky jsou dány situací, kdy ani navrhovaný systém linek bezpečnostní kontroly není ideální a cestující blokuje linku i přesto, že již skončila jejich obsluha, nemohou postoupit k další lince, jelikož na té obsluha jiného cestujícího stále ještě probíhá. Maximální čas, o který se prodlouží bezpečnostní kontrola v simulaci a v realitě je 1 minuta a 38 sekund, pobyt ve frontě na bezpečnostní kontrolu se prodlouží maximálně o 54 sekund.

V závěru práce je prezentován obecný model pro let mimo Schengenský prostor, aby byl ukázán celý systém odbavení, ne pouze změřené části.

Závěrem je možno konstatovat, že simulační program WITNESS dokáže s mírnými odchylkami věrohodně nasimulovat odbavovací proces na letišti. Proto by mohl být použit pro tvorbu obecných modelů pro lety do Schengenského prostoru i mimo něj. Vedení letiště by pak díky těmto modelům mohlo rychle a jednoduše stanovit dopady změn v procesu odbavování, například při volbě počtu otevřených odbavovacích přepážek či linek bezpečnostní kontroly ještě před jejich uvedením do praxe. Což by mohlo jak zefektivnit obsluhu, tak zkrátit době prostoje cestujících v jednotlivých frontách. Dílčím přínosem této práce můžou být také vytvořené zápisníky, které je možno použít měření jakéhokoliv letu.

## Zdroje

- [1] Základní informace. *Letiště Ostrava, a.s.* [Online] Copyright © 2015. [Citace: 26.2.2016] <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-zakladni-informace/>.
- [2] Dokumenty ke stažení. *Letiště Ostrava, a.s.* [Online] Copyright © 2015. [Citace: 26.2.2016] <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-ke-stazeni/>.
- [3] Odbavení cestujících. *Letiště Ostrava, a.s.* [Online] Copyright © 2015. [Citace: 26.2.2016] <http://www.airport-ostrava.cz/cz/page-odbaveni-na-prepazce/>.
- [4] Odbavení. *Czech Airlines*. [Online] © 1998 – 2016. [Citace: 6.3.2016] [http://www.csa.cz/cs/portal/info-and-services/services-csa/odbaveni\\_sub.htm](http://www.csa.cz/cs/portal/info-and-services/services-csa/odbaveni_sub.htm)
- [5] Dynamic Future. *Dynamic Future*. [Online] © 2010. [Citace: 6.1.2016.] <http://www.dynamicfuture.cz/>.
- [6] DORDA, M.; HRADIL, M.; MÝDLO, L.: Simulace technologických systémů a procesů. První. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava/Univerzita Pardubice, 2012. ISBN 978-80-248-3270-8.
- [7] Kazda, A.: Letiská: Design a prevádzka. Žilina: ŽU v Žilině, 1995. 377 s. ISBN 80-7100-240-2.
- [8] Hušek, R.; Lauber, J.: Simulační modely. Praha: SNTL, 1987. 349 s.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma toku cestujících při procesu odbavení při letu do Schengenského prostoru .....	12
Obrázek 2: Schéma toku cestujících při procesu odbavení při letu mimo Schengenský prostor .....	13
Obrázek 3: Rozložení měřících stanovišť v odletové hale při letu A .....	16
Obrázek 4: Rozložení měřících stanovišť v odletové hale při letu B .....	16
Obrázek 5: Prostředí simulačního programu WITNESS .....	28
Obrázek 6: Základní nastavení součásti .....	29
Obrázek 7: Základní nastavení aktivního typu součásti .....	30
Obrázek 8: Základní nastavení součásti typu aktivní s profilem .....	30
Obrázek 9: Základní nastavení zásobníku .....	31
Obrázek 10: Základní nastavení stroje .....	34
Obrázek 11: Základní nastavení pracovníka .....	34
Obrázek 12: Ovládání simulace .....	37
Obrázek 13: Schéma procesů a toků v simulačním modelu letu do Schengenského prostoru .....	39
Obrázek 14: Schéma procesů a toků v simulačním modelu letu mimo Schengenský prostor .....	43
Obrázek 15: Nastavení celočíselné proměnné .....	48
Obrázek 16: Inicializační funkce proměnné .....	49
Obrázek 17: Úprava součásti .....	51
Obrázek 18: Styl součásti .....	51
Obrázek 19: Nastavení směny u stroje .....	57
Obrázek 20: Simulační model letu A .....	59
Obrázek 21: Statistika součásti .....	60
Obrázek 22: Simulační model letu B .....	76
Obrázek 23: Obecný model letu mimo Schengenský prostor .....	86
Obrázek 24: Proud pseudonáhodných čísel .....	96

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání variant řešení bezpečnostní kontroly pro let A .....	42
Tabulka 2: Základní prvky modelu letu A .....	47
Tabulka 3: Proměnné v modelu letu A .....	48
Tabulka 4: Nastavení součástí pro model letu A .....	51
Tabulka 5: Nastavení zásobníků pro model letu A .....	52
Tabulka 6: Nastavení strojů pro model letu A .....	55
Tabulka 7: Směna pracovníka obsluhujícího první odbavovací přepážku a nástup pro model letu A .....	56
Tabulka 8: Směna pracovníka obsluhujícího druhou odbavovací přepážku pro model letu A .....	56
Tabulka 9: Směny pracovníků na druhém a třetím stroji bezpečnostní kontroly pro model letu A .....	57
Tabulka 10: Směna pro odbavovací linky pro model letu A .....	58
Tabulka 11: Směna pro bezpečnostní kontrolu pro model letu A .....	58
Tabulka 12: Směna pro nástup pro model letu A .....	58
Tabulka 13: Směna pro otevření fronty na nástup pro model letu A .....	58
Tabulka 14: Statistiky pro součásti k modelu letu A .....	59
Tabulka 15: Statistiky zásobníků k modelu letu A .....	61
Tabulka 16: Statistiky strojů k modelu pro let A .....	61
Tabulka 17: Statistiky pracovníků k modelu pro let A .....	63
Tabulka 18: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na první odbavovací přepážce pro let A .....	65
Tabulka 19: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na druhé odbavovací přepážce pro let A .....	65
Tabulka 20: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na bezpečnostní kontrolu pro let A .....	65
Tabulka 21: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty na nástup pro let A .....	66
Tabulka 22: Základní prvky modelu letu B .....	68
Tabulka 23: Proměnné v modelu letu B .....	69
Tabulka 24: Nastavení součástí pro model letu B .....	70
Tabulka 25: Nastavení zásobníků pro model letu B .....	71
Tabulka 26: Nastavení strojů pro model letu B .....	73
Tabulka 27: Směna pro přepážku kontroly palubních vstupenek, bezpečnostní kontrolu a pracovníky pro let B .....	74

Tabulka 28: Směny pracovníků na bezpečnostní kontrole pro let B .....	75
Tabulka 29: Směna pro ukončení simulace letu B .....	75
Tabulka 30: Statistiky pro součásti k modelu letu B .....	76
Tabulka 31: Statistiky zásobníků k modelu letu B .....	76
Tabulka 32: Statistiky strojů k modelu pro let B .....	77
Tabulka 33: Statistiky pracovníků k modelu pro let B .....	78
Tabulka 34: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty k přepážce kontroly palubních vstupenek pro let B .....	81
Tabulka 35: Porovnání hodnot vstupu a výstupu z fronty bezpečnostní kontrole pro let B .....	82
Tabulka 36: Porovnání času stráveného v bezpečnostní kontrole pro let B .....	83
Tabulka 37: Základní prvky obecného modelu letu mimo Schengenský prostor.....	85
Tabulka 38: Nastavení zásobníků pro obecný model .....	88
Tabulka 39: Nastavení strojů pro obecný model .....	90
Tabulka 40: Nastavení pracovníků pro obecný model .....	91
Tabulka 41: Směna otevření odbavení pro obecný model.....	92
Tabulka 42: Směna otevření odbavovacích přepážek pro obecný model.....	92
Tabulka 43: Směny pracovníků na bezpečnostní kontrole pro obecný model .....	92
Tabulka 44: Směna pro nástup pro obecný model.....	92
Tabulka 45: Směna pro odchod z modelu priority cestujících pro obecný model .....	93
Tabulka 46: Směna pro odchod z modelu zbytku cestujících pro obecný model.....	93
Tabulka 47: Statistiky pro součásti k obecnému modelu .....	93
Tabulka 48: Statistiky zásobníků k obecnému modelu .....	94
Tabulka 49: Statistiky strojů k obecnému modelu.....	95
Tabulka 50: Statistiky pracovníků pro obecný model .....	96

## Seznam grafů

Graf 1: Časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám při letu A .....	18
Graf 2: Doba čekání ve frontě na odbavení při letu A .....	18
Graf 3: Doba odbavení při letu A .....	18
Graf 5: Navazující činnost cestujících po odbavení při letu A v čase .....	19
Graf 4: Činnost cestujících po odbavení při letu A .....	19
Graf 6: Časový průběh příchodů cestujících k bezpečnostní kontrole při letu A .....	20
Graf 7: Doba čekání ve frontě na bezpečnostní kontrolu při letu A .....	21
Graf 8: Doba bezpečnostní kontroly při letu A .....	21
Graf 9: Doba čekání ve frontě na nástup při letu A .....	21
Graf 10: Časový průběh příchodů cestujících k odbavovacím přepážkám při letu B .....	23
Graf 11: Doba čekání ve frontě na odbavení při letu B .....	23
Graf 12: Doba odbavení při letu B .....	23
Graf 13: Časový průběh příchodů cestujících k bezpečnostní kontrole při letu B .....	24
Graf 14: Doba čekání ve frontě na bezpečnostní kontrolu při letu B .....	25
Graf 15: Doba bezpečnostní kontroly při letu B .....	25
Graf 16: Statistiky strojů v modelu letu A .....	61
Graf 17: Statistiky strojů v modelu letu A .....	62
Graf 18: Krabicový graf pro výstup z fronty do bezpečnostní kontroly pro let A .....	64
Graf 19: Krabicový graf pro dobu odbavení v bezpečnostní kontrole pro let A .....	64
Graf 20: Statistiky strojů v modelu letu B .....	77
Graf 21: Statistiky pracovníků v modelu letu B .....	78
Graf 22: Krabicový graf pro porovnání výstupu fronty do bezpečnostní kontroly letu B...	80
Graf 23: Krabicový graf pro dobu obsluhy na první lince bezpečnostní kontroly pro B ....	80
Graf 24: Krabicový graf pro dobu obsluhy na druhé lince bezpečnostní kontroly pro let B .....	80
Graf 25: Statistiky strojů v obecném modelu .....	94
Graf 26: Činnost pracovníků v obecném modelu .....	95

## **Seznam příloh**

- Příloha č. 1.: Mapa haly Letiště Ostrava, a.s. [2]
- Příloha č. 2.: Zápisník pro měření na letišti pro Schengenský prostor
- Příloha č. 3.: Zápisník pro měření na letišti mimo Schengenský prostor
- Příloha č. 4.: Simulační model vnitrostátního letu A  
(pouze elektronicky)
- Příloha č. 5.: Simulační model letu B mimo Schengenský prostor  
(pouze elektronicky)
- Příloha č. 6.: Obecný simulační model pro let mimo Schengenský prostor  
(pouze elektronicky)